



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

# **«Αμιγώς ξύλινα κτίρια μεγάλης κλίμακας: *Η αναγέννηση των ξύλινων κατασκευών»***

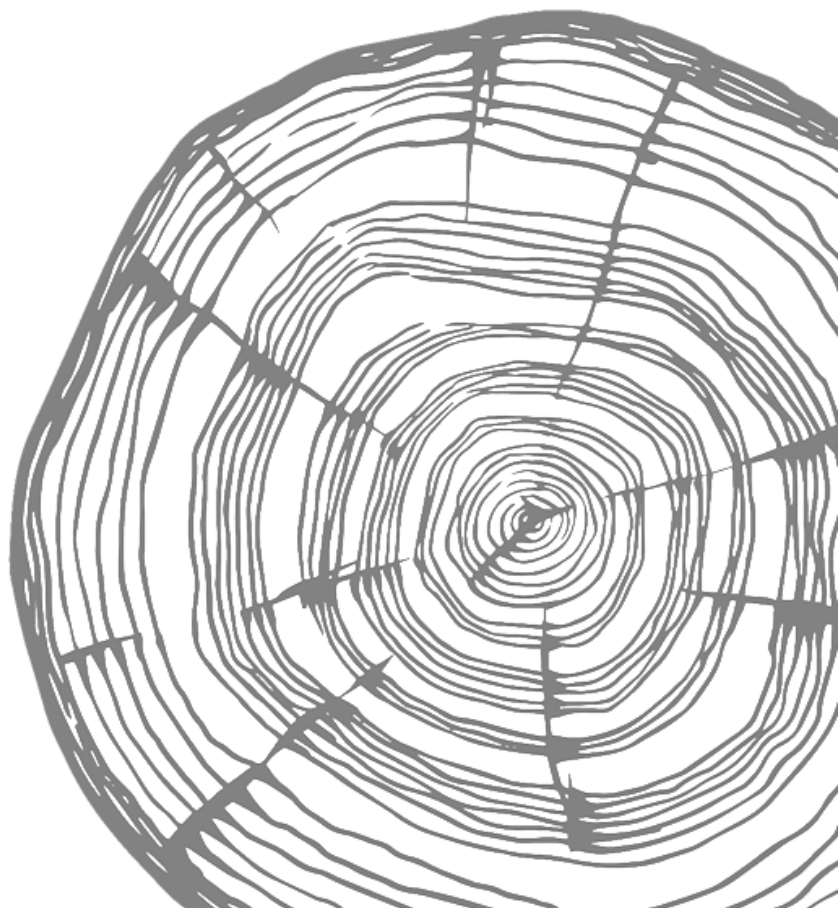
Φοιτητής: Αρώνης Αθανάσιος

Επιβλέπων: Γιάννης Τσάρας



«Αμιγώς ξύλινα κτίρια μεγάλης κλίμακας: Η αναγέννηση της ξύλινης κατασκευής»

*Ευχαριστώ θερμά τον κ. Ι. Τσάρα για την καθοδήγηση και τη συνεργασία, ώστε να ολοκληρωθεί η ερευνητική εργασία, και την οικογένειά μου που με στήριζε όλα τα χρόνια φοίτησής μου.*



## **Περιεχόμενα**

Περίληψη .....	5
Εισαγωγή .....	5
Λέξεις κλειδιά .....	6
Ερευνητικά ερωτήματα .....	6
<b>Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>: Ιστορικό ξύλινων κατασκευών</b>	
1.1. Marc-Antoine Laugier: Η προμετωπίδα του Essai sur l'architecture και το αρχέτυπο της ξύλινης κατασκευής. ....	7
1.2. Η απαρχή των ξύλινων κατασκευών .....	8
1.3. Ξύλινες κατασκευές της Ευρώπης	
1.3.1. Κατασκευές με κορμούς στις Σκανδιναβικές χώρες.....	9
1.3.2. Γερμανία: Δόμηση Fachwerk (half-timber) .....	11
1.4. Ξύλινες κατασκευές της Ασίας	
1.4.1. Ναοί της Κίνας .....	13
1.4.2. Ιαπωνικές συνδεσμολογίες.....	15
1.5. Ξύλινες κατασκευές στον υπόλοιπο κόσμο	
1.5.1. Αμερική: Η ξύλινη ελαφριά κατασκευή.....	18
1.5.2. Αυστραλία: Εξέλιξη των λυόμενων κτισμάτων.....	20
1.5.3. Η καλύβα στην σαβάννα της Αφρικής .....	21
<b>Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>: Η νέα εποχή των ξύλινων κατασκευών</b>	
2.1. Το ξύλο ως υλικό	
2.1.1. Γενικά χαρακτηριστικά ξύλου .....	22
2.1.2. Υλοτομία και κατεργασία.....	24
2.2. Το ξύλο ως «σύγχρονη» εναλλακτική προσέγγιση κατασκευής	
2.2.1. Το συγκριτικό πλεονέκτημα, σε σχέση με το σκυρόδεμα και το μέταλλο .....	25
2.3. Σημείο καμπής για τη δόμηση με ξύλο	
2.3.1. Η αναθεώρηση του κανονισμού.....	27
2.3.2. Περιβάλλον .....	28
2.3.3. Δάση .....	29

### Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: Κατασκευαστική δομή από ξύλο

3.1. Συστήματα Σύνδεσης.....	31
3.1.1. Cross-Laminated timber (CLT).....	31
3.1.2. Dowel-Laminated timber (DLT).....	32
3.1.3. Nail-Laminated timber (NLT).....	32
3.1.4. Glued-Laminated timber (Glulam).....	33
3.2. Γενική κατασκευαστική δομή .....	34
3.2.1. Σύστημα Post and Platform.....	34
3.2.2. Σύστημα Post-Beam-Panel.....	36
3.2.3. Υβριδικό σύστημα ελαφριάς κατασκευής.....	37
3.2.4. Σύστημα ενισχυμένου πλαισίου.....	38
3.3. Συστήματα πλήρωσης .....	39
3.4. Αντισεισμικότητα.....	41
3.5. Πυρασφάλεια .....	42

### Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>: Ξύλινα κτίρια μεγάλης κλίμακας – μελέτη περιπτώσεων

4.1. Υλοποιημένα	
4.1.1. Ascent MKE, Milwaukee .....	43
4.1.2. Sara Cultural Center, Σουηδία .....	45
4.1.3. Tamedia Office Building, Σουηδία.....	48
4.1.4. Tianfu Agriculture Expo Park, Κίνα .....	51
4.2. Προτάσεις	
4.2.1. The Oakwood Timber Tower, Λονδίνο.....	53
4.2.2. Forest Green Rovers stadium, Gloucestershire, Αγγλία .....	55
4.2.3. Proto-Model X (PMX-35), A Prototype of the World’s Tallest Net-Zero Timber Building.....	56
Συμπεράσματα .....	58
Βιβλιογραφία .....	59
Κατάλογος Εικόνων.....	

## **Περίληψη**

Η εργασία διαπραγματεύεται τις κατασκευές από ξύλο, είτε ως δομικό στοιχείο είτε ως αποκλειστικό υλικό δόμησης. Αποτελείται από τέσσερις ενότητες βασικού κορμού και τα συμπεράσματα. Στην πρώτη ενότητα γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή της χρήσης του ξύλου στους πολιτισμούς που έχουν παράδοση στις ξύλινες κατασκευές. Στόχος της ενότητας αυτής είναι να υπάρξει μια πρώτη επαφή με τις ξύλινες κατασκευές και τις διαφορετικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε διάφορες χώρες και χρονικές περιόδους. Στη συνέχεια αναλύεται η δομή και οι ιδιότητες του ξύλου και των κορμών και συγκρίνεται ως δομικό υλικό με το σκυρόδεμα και το μέταλλο, τα δύο επικρατέστερα υλικά κατασκευής σήμερα. Έπειτα, για να γίνουν κατανοητές όσο το δυνατόν περισσότερες πτυχές της, γίνεται εμβάθυνση στα διάφορα στάδια και χαρακτηριστικά της κατασκευής, αναφέρονται τα οφέλη, οι αρχιτεκτονικές καινοτομίες αλλά και κάποιες ανησυχίες και αρνητικά στοιχεία. Στην τελευταία ενότητα παρουσιάζονται διάφορα παραδείγματα κτιρίων βιομηχανικής ξυλείας, υλοποιημένων και μη, με στόχο όχι απαραίτητα την ανάδειξη των καλύτερων ή των πιο περίτεχνων κατασκευών, αλλά το εύρος των κατασκευών που υπάρχει η δυνατότητα να υλοποιηθούν με αυτή την αμιγώς ξύλινη προσέγγιση.

## **Εισαγωγή**

Το ξύλο αποτελεί κατασκευαστικό υλικό για την ανθρωπότητα από τα προϊστορικά χρόνια. Ήδη οι πρώτες μόνιμες κατοικίες είναι κτίσματα που κυριαρχεί το ξύλο ως βασικό υλικό δόμησης, σε συνδυασμό με λάσπη, πέτρα κ.α. Με την πάροδο του χρόνου και την ανάπτυξη της τεχνολογίας, οι κατασκευές κατευθύνθηκαν περισσότερο προς νέα υλικά, για να καλύψουν τα αντικειμενικά μειονεκτήματα που έχει η χρήση του ξύλου, όπως η διάβρωση από την υγρασία και η μικρή αντοχή στη φωτιά. Σήμερα όμως, τα προβλήματα του ξύλου υπάρχει η δυνατότητα να ξεπεραστούν και να το κάνουν να ανταγωνίζεται σε ιδιότητες τα επικρατέστερα υλικά κατασκευών, το σκυρόδεμα και το μέταλλο. Έτσι, σε μια εποχή όπου ορίζεται από την αυξημένη ευαισθητοποίηση για την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και την αυξανόμενη ανάγκη για τον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, ο τομέας της αρχιτεκτονικής και των κατασκευών έχει ξεκινήσει μια διαδικασία προσαρμογής. Στην αιχμή αυτής της αρχιτεκτονικής επανάστασης βρίσκεται η καινοτομία των κτιρίων βιομηχανικής ξυλείας. Η συγκεκριμένη εργασία ερευνά τον πολύπλευρο κόσμο των κτιρίων βιομηχανικής ξυλείας, εστιάζοντας στην γενική κατασκευαστική δομή τους και στα πολλαπλά οφέλη, συγκριτικά με τα επικρατέστερα κατασκευαστικά υλικά.

### **Λέξεις κλειδιά**

Ελληνικά:

- Ξύλινα κτίρια
- Βιομηχανική ξυλεία
- Τεχνολογία ξύλου

Αγγλικά:

- Timber Buildings
- Mass Timber
- Wood engineering

### **Ερευνητικά ερωτήματα**

- Ποιά είναι η δομή των ξύλινων κατασκευών;
- Τι πλεονεκτήματα προσφέρει η χρήση του ξύλου σε σχέση με το σκυρόδεμα και το μέταλλο;
- Πόσο ασφαλή θεωρούνται τα μεγάλα σε κλίμακα κτίρια από ξύλο;
- Ποιές είναι οι δυνατότητες εξέλιξης, σε βάθος χρόνου;

## **Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>: Ιστορικό ξύλινων κατασκευών**

### **1.1. Marc-Antoine Laugier: Η προμετωπίδα του Essai sur l'architecture και το αρχέτυπο της ξύλινης κατασκευής.**

Ο Marc-Antoine Laugier, γεννημένος τον Ιανουάριο του 1713 ήταν ένας Ιησουΐτης ιερέας, που με τις αρχιτεκτονικές θεωρήσεις του επηρέασε σε έντονο βαθμό την σκέψη πίσω από την αρχιτεκτονική της εποχής. Σύμφωνα με τον John Summerson «Ο Marc-Antoine Laugier θα μπορούσε να αποκαλείται ο πρώτος αρχιτεκτονικός φιλόσοφος.».

Το 1753 εκδίδει το «Essai sur l'architecture» («Δοκίμιο για την αρχιτεκτονική») και το 1755 την δεύτερη έκδοση της θεωρίας του, μια θεωρία βασισμένη επάνω στο γενικότερο πνεύμα του ορθολογισμού. Ο Laugier πιστεύει πως μόνο το χρήσιμο και αναγκαίο πρέπει να αποτελούν τη βάση της αρχιτεκτονικής. Κατά την άποψη του, οι μορφές πρέπει να χαρακτηρίζονται από απλότητα και φυσικότητα, ενώ σκοπός τους οφείλει να είναι η έκφραση του χαρακτήρα μιας σύνθεσης. Με αυτόν τον τρόπο, αποδέχεται την ασυμμετρία ή τη σχετική αταξία, με στόχο να δοθεί στον θεατή η εντύπωση της μεγαλύτερης ποικιλίας, και συγχρόνως συνηγορεί υπέρ της χρήσης απλών γεωμετρικών μορφών.

Ο Laugier δεν ανανέωσε με τις θεωρίες του την αρχιτεκτονική ρυθμολογία, αλλά προσπάθησε να δει την νέα αρχιτεκτονική μέσω της αφαίρεσης των κλασικών και μεσαιωνικών μορφών. Στην προμετωπίδα του βιβλίου του απεικονίζεται μια γυναικεία μορφή, που δείχνει σε ένα μικρό παιδί τις βασικές κατασκευαστικές αρχές της αρχιτεκτονικής, δείχνοντας μια αρχέτυπη ξύλινη κατασκευή με φυσικές μορφές δοκών και υποστυλωμάτων, υποδεικνύοντας έτσι την αρχή της δομικής τέχνης.



Εικόνα 1. «Marc-Antoine Laugier. Προμετωπίδα του βιβλίου «Essai sur l'architecture», 1755»



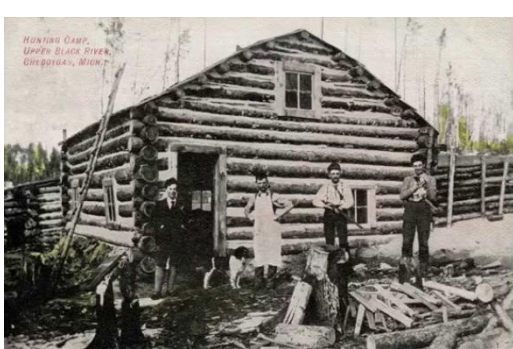
## 1.2. Η απαρχή των ξύλινων κατασκευών

Το ξύλο είναι ένα από τα παλαιότερα υλικά δόμησης, με ιστορία χιλιετηρίδων στις κατασκευές. Ο πρώτος άνθρωπος ήρθε από πολύ νωρίς σε επαφή με το δάσος και το χρησιμοποιούσε, ανέκαθεν, ως ένα από τα καταφύγια του, αναζητώντας ασφαλή διαμονή στα ψηλά δέντρα. Για χιλιετίες αυτά τα δάση ήταν κεντρικής σημασίας για την ζωή των ανθρώπων, παρέχοντας τροφή, φάρμακα, βάρκες, αντικείμενα, ρούχα και ποικίλα υλικά για την κατοικία. Η μορφή των κτιρίων, η κλίμακα και οι τεχνικές κατασκευής διέφεραν ανάλογα με την περιοχή και τα διαθέσιμα είδη ξύλου. Η σχέση μεταξύ των αυτοχθόνων λαών και του φυσικού κόσμου συνοψίζεται με τα λόγια της συγγραφέως Tanya Talaga των Anishinaabe “Παραδοσιακά, όλα τα αυτόχθονα έθνη έχουν μια βαθιά σχέση με τη γη. Πιστεύουν ότι τα ανθρώπινα όντα είναι μέρος μιας ευρύτερης ιστορίας της ζωής, μέρος μιας συνέχειας όλης της ζωής στη Γη και ότι κάθε μεμονωμένο ον παίζει το δικό του ρόλο ως θεματοφύλακας, διαφυλάσσοντας την γη για την επόμενη γενιά.».

Το ξύλο έχει μια πληθώρα σημασιών για τους αρχιτέκτονες – σχεδιαστές. Είναι ένα υλικό για σκέψη, είναι οικολογικό, ατμοσφαιρικό, χειροποίητο. Οι ξύλινες κατασκευές έχουν χαρακτήρα και κομψότητα, επιτρέπουν να συμπεριληφθούν εκλεπτυσμένα επαναλαμβανόμενα στοιχεία, παρέχουν ένα ευέλικτο παιχνίδι με το φως και τις φυσικές ατμόσφαιρες. Όμως, η χρήση του ξύλου δεν είναι ποτέ η τελική λύση ενός σχεδιαστικού προβλήματος, αλλά έρχεται πρώτο και με αυτόν τον τρόπο πυροδοτεί μια δημιουργική διαδικασία.

### 1.3. Ξύλινες κατασκευές της Ευρώπης

#### 1.3.1. Βόρεια Ευρώπη (Φινλανδία – Νορβηγία)



Εικόνα 2. «Φωτογραφία παλιού κτιρίου από κορμούς»

Οι Σκανδιναβικές χώρες, εξαιτίας της μεγάλης ύπαρξης και συνεχής διαθεσιμότητας των δασών, και κατά συνέπεια των δέντρων, στην ενδοχώρα, έχει αναπτύξει μια τεράστια παράδοση στις κατασκευές από ξύλο, καθιστώντας το έτσι ως το βασικό υλικό δόμησης για χιλιάδες χρόνια. Στην μεγάλη εμπειρία επάνω στις ξύλινες κατασκευές συνέβαλε και η μεγάλη παράδοση στα ξύλινα πλοία από την εποχή των Βίκινγκ, όπου οι τεχνίτες, της εποχής, ανέπτυξαν πολλές διαφορετικές τεχνικές για την επεξεργασία του υλικού και από γενιά σε γενιά η γνώση μεταλαμπαδεύτηκε, με τις ξύλινες κατασκευές να έχουν πρωταγωνιστικό ρόλο στις Σκανδιναβικές χώρες.

Η παραδοσιακή σκανδιναβική κατοικία ή, πιο γενικά, το παραδοσιακό σκανδιναβικό κτίριο, κατασκευάζεται με κορμούς δέντρων, καθώς ο πιο απλό τρόπος για να χτίσεις με ξύλο ήταν να χρησιμοποιήσεις ολόκληρο το δέντρο, ή τουλάχιστον τον κορμό του. Οι κορμοί, για πολλά χρόνια λαξευμένοι στο χέρι, τοποθετούνται ο ένας επάνω στον άλλον με μια οριζόντια διάταξη και συνδέονται μεταξύ τους μέσω θηλυκώσεων στις γωνίες. Η οριζόντια τοποθέτηση αυτή, είναι ο λόγος που τα κτίρια ήταν, και είναι, απλά και ορθοκανονικά σε μορφή, με την κλίμακα τους να ποικίλει ανάλογα με το μήκος των κορμών. Πλέον υπάρχει και η επιλογή των μηχανικά προκατασκευασμένων κορμών, με κορμούς που κατεργάζονται πρώτα και φέρουν δύο επίπεδες πλευρές επαφής και μια εγκοπή στο μέσο. Οι κορμοί αυτοί διαμορφώνονται στο πριστήριο και έτσι δημιουργείται μεγάλη επιφάνεια επαφής των κορμών, με καλύτερη μόνωση, ευκολότερη στεγανοποίηση και καλύτερο δέσιμο (Βλ. Εικόνα 4,5,6).



Εικόνα 3. «Πίνακας του Akseli Gallen-Gallela που απεικονίζει την κατασκευή κατοικίας από μια οικογένεια»



Εικόνα 5. «Κορμοί με τετραγωνισμένο προφίλ»



Εικόνα 6. «Κορμοί με προδιαμορφωμένο προφίλ»



Εικόνα 4. «Κορμοί τυπικού Σουηδικού προφίλ»

Τον 18<sup>ο</sup> αιώνα οι προσόψεις, αυτών των παραδοσιακών κτιρίων, ξεκίνησαν να επενδύονται με ξύλινες σανίδες, με τις πρώτες αλλαγές να εμφανίζονται σε εκκλησίες, δημαρχεία, αρχοντικά και κτηνοτροφία. Η επένδυση αυτή ξεκίνησε για λόγους προστασίας, και αρχιτεκτονικής αλλαγής. Όμως, αυτή η αλλαγή δεν ήταν αρκετά διαδεδομένη μέχρι και τον 19<sup>ο</sup> αιώνα, όπου και εδραιώθηκε σαν τεχνική. Τον επόμενο αιώνα θα εμφανιστεί ένας νέος τρόπος δόμησης, επηρεασμένος από την Αμερικάνικη τεχνική της ξύλινης ελαφριάς κατασκευής. Με αργούς ρυθμούς ξεκινάει η εφαρμογή της νέας τεχνικής όλο και περισσότερο και την δεκαετία του 1930, αφού η δόμηση με κορμούς πλέον θεωρείται παλαιομοδίτικη, εδραιώνεται «επισήμως» το Αμερικάνικο στυλ δόμησης. Ο νέος αυτός τρόπος κατασκευής εξοικονομούσε ξύλινους πόρους και χρόνο, για αυτό και παρέμεινε έως και σήμερα ένας από τους βασικούς τρόπους δόμησης. Την τελευταία του, όμως, μαζική εμφάνιση έκαναν οι κορμοί, ως βασικό δομικό υλικό, την

μεταπολεμική περίοδο, όπου τα καρφιά και το ξύλο, που χρησιμοποιούσαν, βρίσκονταν σε έλλειψη. Παρόλο που η τεχνική με τους κορμούς, ως δομικό υλικό, εξασθένησε, ποτέ δεν σταμάτησε ολοκληρωτικά να χρησιμοποιείται.

### 1.3.2. Γερμανία: Δόμηση Fachwerk (half-timber)



Εικόνα 7. «Τυπική κατοικία Fachwerk»

Η τεχνική Fachwerk (Half timber houses), είναι μια αρχαία μέθοδος οικοδόμησης μη θρησκευτικών κτιρίων, κατά την οποία οι εξωτερικοί και οι εσωτερικοί τοίχοι κατασκευάζονται από ξύλινο σκελετό και οι χώροι μεταξύ των δομικών μελών πληρούνται με υλικά όπως τούβλο, σοβά ή γύψο και τελική επίστρωση. Το σύνολο της τοιχοποιίας αποτελεί ένα στοιχείο σε μορφή πετάσματος. Παρόμοιες βασικές αρχές χρησιμοποιήθηκαν σε πολλά μέρη, αλλά το Fachwerk ήταν αυτό που καθόρισε την ποιότητα της τεχνικής, αντανακλώντας στην εξέλιξη του όλες τις μελλοντικές εποχές, από τον Μεσαίωνα μέχρι και την Art Nouveau. Οι περισσότερες κατασκευές αυτής της μορφής εμφανίζονται στην Γερμανία αλλά παρατηρούνται επίσης στην Γαλλία και την Αγγλία. Αυτό που ξεχωρίζει τις Γερμανικές κατοικίες είναι το πιο τολμηρό και ακατέργαστο αποτέλεσμα, που τα χαρακτήριζε, χρησιμοποιώντας λιγότερα στοιχεία και δίνοντας έμφαση στη γωνιακή στήριξη.

Η απαρχή των μόνιμων ξύλινων κατασκευών στην περιοχή της Γερμανίας ήταν μια σύνθεση από στύλους. Πρώτα έσκαβαν μια τρύπα βάθους περίπου ενός μέτρου και τοποθετούσαν σε αυτή τους στύλους με τα κενά ενδιάμεσα τους να τα γεμίζουν με ψάθινες ράβδους, άχυρο και πηλό. Μέχρι τον 11<sup>ο</sup> αιώνα το κλίμα είχε αλλάξει, με το κρύο να είναι αρκετά περισσότερο. Για αυτόν τον λόγο χτίστηκαν πιο ψηλά σπίτια, με πέτρινα θεμέλια, ώστε να προστατεύονται από τις χαμηλές θερμοκρασίες. Οι πιο απλές κατασκευές δεν στηρίζονταν πλέον στην πέτρα και για αυτό έπρεπε να φτιαχτούν δοκάρια και αντηρίδες, ώστε να είναι σταθερές. Έτσι, εμφανίστηκε η τυπολογία της ημιξύλινης κατοικίας, όπου το πλαίσιο αποτελούταν από ξύλινα δοκάρια και πάνελ από υφαντές ράβδους γεμάτες με πηλό. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας η δομή παρέμεινε η ίδια, αλλά αναπτύχθηκαν διάφορα διακοσμητικά στοιχεία. Οι διακοσμήσεις στις προσόψεις των κτιρίων γίνονται μόνο στα πλούσια σπίτια, κυρίως βόρεια της χώρας, ενώ στον νότο τα σπίτια είναι πιο απλά και τα πλούσια σπίτια είναι κατά κύριο λόγο φτιαγμένα από πέτρα.



Εικόνα 8. «Μία από τις πιο παλιές κατοικίες Fachwerk, 1346, Quedlinburg»

Η διαδικασία και η σύνδεση των ξύλων μεταξύ τους γινόταν πάντα σύμφωνα με το σύστημα κατασκευής της σκαλωσιάς. Οι τεχνίτες κατασκεύαζαν αρχικά ένα τρισδιάστατο δικτυωτό πλέγμα από κάθετους ορθοστάτες και οριζόντια και διαγώνια συσφιγμένα ξύλα, τις λεγόμενες ράβδους και αντηρίδες. Τα κενά του ξύλινου δικτυώματος γεμίζονταν με διάφορα υλικά ανά τα χρόνια. Το πιο κοινό γέμισμα, στα πρώτα χρόνια εμφάνισης των σπιτιών Fachwerk ήταν τα δεσίματα από λεπτά κλαδιά, τα οποία μετέπειτα καλύπτονταν με σοβά. Τα κλαδιά αυτά, δεν ήταν πάντα σε μορφή υφαντού αλλά ήταν μεμονωμένα κλαδιά τοποθετημένα κάθετα, οριζόντια ή υπό γωνία σε τρύπες ή αυλακώσεις του πλαισίου. Η επίστρωση του σοβά είχε πολλούς τρόπους σύνθεσης, αλλά γενικά ήταν ένα μείγμα πηλού και κιμωλίας με ένα συνδετικό υλικό όπως το γρασίδι ή το άχυρο και νερό. Όταν η κατασκευή τούβλων αυξήθηκε, η πλήρωση από τούβλα αντικατέστησε τα λιγότερο ανθεκτικά γέμισματα, όπως το προηγούμενο, και αποτέλεσε την νέα – καλύτερη επιλογή. Άλλα υλικά πλήρωσης ήταν τα ψημένα και άψητα τούβλα, οι πέτρες, οι σανίδες, τα ξύλα και



σπάνια το στάχυ χωρίς ξύλινο στήριγμα. Οι επιφάνειες των τοίχων στο εσωτερικό ήταν συχνά καλυμμένες με σανίδες και σοβατίζονταν για ζεστασιά και εμφάνιση.

Εικόνα 9. «Κτίριο με τρεις διαφορετικές πληρώσεις»



Εικόνα 10. «Παραδείγματα διαφόρων πληρώσεων»

Η ημιξύλινη κατασκευή των σπιτιών Fachwerk αποτελούταν από την πέτρινη βάση (A), που επέκτεινε τη διάρκεια ζωής της κατασκευής και την προστάτευε από την υγρασία και το κρύο, τα ξύλινα οριζόντια δοκάρια που τοποθετούνταν επάνω στην βάση (B), στις επάνω άκρες των κάθετων στύλων (C) και στο δάπεδο στήριξης (D) ή στην στέγη (E), τους κάθετους στύλους (G) και τα εγκάρσια δοκάρια (H,J). Μακριές αντηρίδες (I) και κοντά στηρίγματα (K,L) τοποθετούνται για τη μείωση του φορτίου μεταξύ οριζοντίων ή κάθετων δοκών. Επίσης, κονσόλες και επιπλέον αντηρίδες παρατηρούνται στον δεύτερο όροφο, ώστε να τον ενισχύσουν στατικά. Τέλος, συνήθως υπάρχει ένα παράθυρο στη σοφίτα (P) που εξυπηρετεί στην φόρτωση εμπορευμάτων.



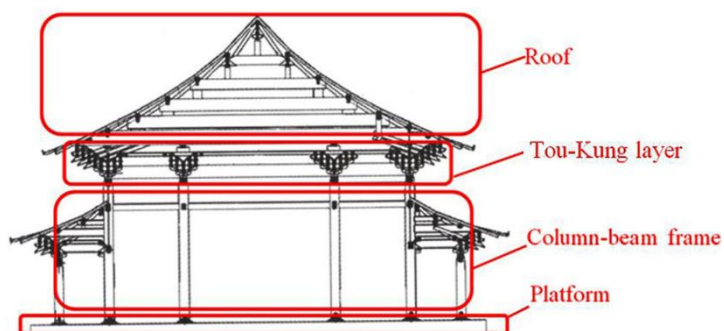
Εικόνα 11. «Κολλάζ με επεξηγηματικές εικόνες για τη δομή των σπιτιών Fachwerk»

## 1.4. Ξύλινες κατασκευές της Ασίας

### 1.4.1. Ναοί της Κίνας

Η Κίνα έχει μια αρκετά ιδιαίτερη παράδοση στις ξύλινες κατασκευές, με κτίρια και τεχνικές που δε συναντώνται συχνά, ειδικά για τις εποχές που χτίστηκαν. Η κινέζικη αρχιτεκτονική αποτελεί ένα αναπόσπαστο κομμάτι του πολιτισμού της Κίνας, καθώς ανέπτυξε νωρίς τα δικά της μοναδικά χαρακτηριστικά με βασικό στοιχείο τη συστηματοποίηση.

Η παραδοσιακή αρχιτεκτονική χαρακτηρίζεται από διάφορα διακριτά στοιχεία. Ξεκινώντας από τη βάση, από συμπίεμένο χώμα, για τα πιο ταπεινά κτίρια ή από τούβλα-λίθους, για τα πιο μεγαλειώδη. Το ύψος και η λεπτομέρεια του βάθρου αυτού είναι ανάλογη της σημαντικότητας, δηλαδή τον «βαθμό» του κτιρίου. Έπειτα, ξύλινες κολόνες τοποθετούνταν σε λίθινες βάσεις, σκαλισμένες σε διάφορες μορφές. Μετέπειτα, προστίθενται τα δοκάρια, τα οποία δένουν επάνω στις κολόνες και προς τις δύο κατευθύνσεις, με κάποια παραδείγματα να έχουν πάνω από μία σειρά με δοκάρια. Σε αυτό το σημείο εμφανίζεται και η μεγάλη διαφορά σε σχέση με τις κατασκευές της Ευρώπης, ο τρόπος με τον οποίο στήριζε ο κάθε λαός την οροφή-στέγη. Στην Ευρώπη, εκτός από τις ξύλινες αψίδες, παρατηρείται κυρίως η τεχνική των ξύλινων ζευκτών συστημάτων, ενώ στην κινέζικη διατομή, σε τέτοιες περιπτώσεις, οι θέσεις των στηρίξεων προέρχονται από ένα σύστημα δοκαριών, με κάθε στρώση να αποτελείται από όλο και μικρότερα σε μήκος δοκάρια, που τοποθετούνται κάθετα το ένα πάνω από το άλλο μεταξύ των υποστυλωμάτων και διαχωρίζονται με την βοήθεια των αντηρίδων. Ακριβώς επάνω από τις αντηρίδες τοποθετούνται οι τεγίδες της στέγης και ολοκληρώνουν αυτή τη σύνθετη κατασκευή.



Εικόνα 13. «Διάγραμμα διαχωρισμού δομής των ναών της Κίνας»



Εικόνα 12. «Βουδιστικός Ναός, Donglin Temple, Σαγκάη»

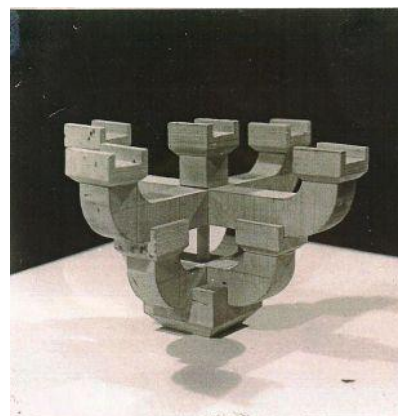
Με ένα τέτοιο σύστημα αναπτύχθηκε η δυνατότητα να μπορεί η κάθε κατασκευή, με τους ίδιους κανόνες, να έχει διαφορετική μορφή. Αυτό επιτυγχάνεται διότι μπορεί το σύστημα να επεκταθεί προς όλες τις κατευθύνσεις. Στην κατεύθυνση του ανοίγματος θα μπορούσε να αυξηθεί το πλάτος της διατομής, να τοποθετηθούν περισσότερα δοκάρια και υποστυλώματα, να δημιουργηθούν βεράντες ή εσωτερικοί χώροι διαφορετικού πλάτους. Στην αντίθετη κατεύθυνση, επεκτείνεται με απλή επανάληψη του συνδυασμού των δοκαριών και καθ' ύψος μπορεί να μεταβληθεί αλλάζοντας τα ύψη των διαφορετικών στοιχείων της διατομής, διαμορφώνοντας χαμηλότερες βεράντες με ψηλότερο εσωτερικό χώρο, δημιουργώντας στοές ή και με την προσθήκη παραπάνω ορόφων. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της στέγης ήταν ότι οι αντηρίδες σε συνδυασμό με τις τεγίδες μπορούσαν να τοποθετηθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να παράγουν κορφιά σε ευθεία ανάπτυξη ή καμπυλωτή, είτε οποιοδήποτε συνδυασμό των δύο. Αυτές οι διαφορετικές μορφές χρησιμοποιήθηκαν στρατηγικά σε διαφορετικές περιπτώσεις η κάθε μία. Σε πιο ταπεινές ή λειτουργικές στέγες χρησιμοποιούνταν η ευθεία γραμμή, ενώ σε πιο σημαντικές, για παράδειγμα η στέγη ενός ναού, χρησιμοποιούνταν η καμπυλωτή μορφή που θεωρείται πιο επιβλητική.



Ακόμη ένα στοιχείο, που τονίζει την καινοτομία του λαού της Κίνας αλλά και πόσο διαφορετικά αντιμετωπίζει τα προβλήματα της κατασκευής, είναι το σύμπλεγμα από αγκύλες του-kung. Εκ πρώτης όψεως το σύμπλεγμα αυτό θυμίζει τα ιδιαίτερα κινέζικα παζλ, με τις περίπλοκες μορφές που μπλέκονται η μία μέσα στην άλλη. Οποιαδήποτε ξύλινη κατασκευή με ανοιχτή κάτοψη ή μια βεράντα έχουν ανάγκη από προστασία απέναντι στις καιρικές συνθήκες. Με το του-kung οι κινέζοι κατάφεραν να μπορούν να κατασκευάσουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερες προεξοχές στις στέγες τους, με αποτέλεσμα να μην έχουν πρόβλημα με τα μεγαλύτερα ύψη στους ορόφους, καθώς μπορούσαν να τα στεγάσουν επαρκώς. Φυσικά, μια τέτοια μορφή και ένας πολύ μεγάλος πρόβολος τονίζει την μνημειακότητα της κατασκευής και δημιουργεί απορία στον επισκέπτη ως προς τον τρόπο κατασκευής του.



Εικόνα 14. «Σύμπλεγμα του-kung τοποθετημένο σε ναό»



Εικόνα 15. «Μεμονωμένο σύμπλεγμα του-kung»

Στο εσωτερικό του κτιρίου οι τοίχοι είχαν τη δυνατότητα να τοποθετηθούν ελεύθερα μέσα στο χώρο. Ο κάθε τοίχος είναι μια επιφάνεια μέσα σε μια ξύλινη κορνίζα και δεν αποτελούσε μέλος του στατικού φορέα. Πέρα από το αρχιτεκτονικό και στατικό ενδιαφέρον, η κινέζικη κουλτούρα δίνει βάση και στη διακόσμηση του κτίσματος, τονίζοντας ακόμα περισσότερο τις έντονες μορφές του με χρώματα. Χαρακτηριστικό που δεν παρατηρείται σε πολλούς πολιτισμούς ανά τον κόσμο. Τα χρώματα ποικίλουν σε κάθε κατασκευή και σε συνδυασμούς και σε αποχρώσεις, όμως, σε κάθε περίπτωση υπακούν κάποιους κανόνες ή επιλέγονται με μια συγκεκριμένη λογική. Για παράδειγμα, οι τοίχοι της βάσης, αν σοβατιστούν και δεν αφεθούν τα φυσικά υλικά, έχουν ένα χρώμα, συνήθως κόκκινο. Τα υποστυλώματα ήταν μονόχρωμα, συνήθως κόκκινα, οι δοκοί, τα δοκάρια της στέγης, οι στηρίξεις, η μαρκίζα και τα ταβάνια βάφονται με ζωηρά χρώματα και περίτεχνα σχέδια. Οι οροφές ήταν πάντοτε μονόχρωμες, μαζί με τις διακοσμήσεις στην κορυφογραμμή τους.

#### 1.4.2. Ιαπωνικές συνδεσμολογίες

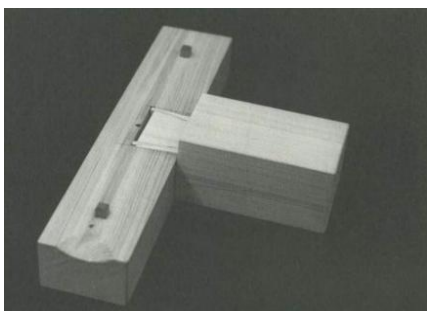
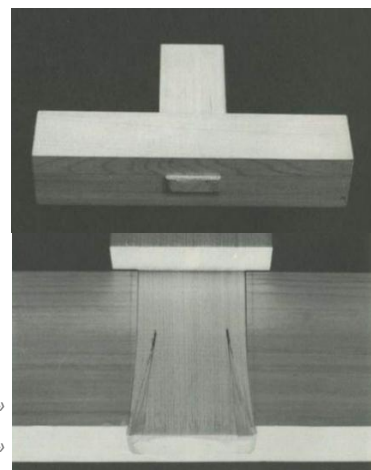
Οι αρχιτεχνίτες της Ιαπωνίας εμπνευσμένοι από το τοπικό πεύκο και την Ζέλκοβα και επηρεασμένοι από την ιαπωνική κουλτούρα, δημιουργούν κτίρια μοναδικής αισθητικής. Η Ιαπωνική αρχιτεκτονική περιέχει παραδείγματα κατασκευών, όπως βουδιστικούς ναούς και ιερά και φυσικά τις Παγόδες των τριών και πέντε ορόφων. Πίσω από αυτή την ιδιαίτερη εμφάνιση των Παγόδων και γενικά των ξύλινων κατασκευών της Ιαπωνίας κρύβεται η γνώση και η δεξιοτεχνία που ανέπτυξαν οι τεχνίτες.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι να συνδεθούν τα διάφορα μέλη μιας κατασκευής μεταξύ τους, αλλά οι συνθήκες και οι απαιτήσεις αλλάζουν ανάλογα με την κατασκευή. Για παράδειγμα, τα δοκάρια μπορούν να δεθούν με σχοινιά, να σκαλιστούν και να συναρμολογηθούν ή να συνδεθούν το ένα με το άλλο χρησιμοποιώντας καρφιά, βίδες ή ακόμα και κόλλα. Οι τεχνίτες που ασχολιόντουσαν με το σκάλισμα και τη συνδεσμολογία του ξύλου, οι λεγόμενοι “αρθρωτές”, είχαν να εστιάσουν σε πολλούς παράγοντες, πέρα από την απλή σύνδεση. Οι συνδέσεις έπρεπε να είναι αρκετά δυνατές ώστε να είναι ικανές να παραλάβουν τα φορτία που θα τους ασκηθούν από την κατασκευή, όπως είναι η κάμψη, η στρέψη και η διάτμηση. Πέρα από το κατασκευαστικό, μεγάλη έμφαση δινόταν και στο εμφανισιακό-αισθητικό κομμάτι, κατά συνέπεια εμφανίζεται μια τεράστια ποικιλομορφία συνδέσεων που έχουν να κάνουν με άλλες να εστιάζουν στο στατικό κομμάτι και στην αντοχή της κάθε σύνδεσης και άλλες να εστιάζουν κυρίως στο αισθητικό. Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις συνδέσεων στην ιαπωνική παράδοση, με πιο σημαντικές τις αρθρώσεις συναρμογής, και τις συνδετικές αρθρώσεις. Οι **αρθρώσεις συναρμογής** αποτελούν λύση για τη συνέχιση των δοκών με την χρήση δύο ή και παραπάνω δοκών, χωρίς κολόνα ενδιάμεσα. Αυτό επιτυγχάνεται λαξεύοντας τις άκρες των δοκών με τέτοιο τρόπο ώστε η μία να θηλυκώνει με μεγάλη ακρίβεια με την άλλη. Σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και σφήνες για να κλειδώσει η άρθρωση ώστε να μειωθούν οι πιθανότητες αστοχίας.

Οι αρθρώσεις που ενδιαφέρουν ωστόσο τη στατική δομή μιας ξύλινης κατασκευής είναι οι **συνδετικές αρθρώσεις**. Η πρώτη τεχνική αφορά τις αρθρώσεις που κάνουν χρήση της σφήνας. Το πιο απλό παράδειγμα αποτελεί η **άρθρωση Warikusabi**, μια σφηνοειδής άρθρωση για τη σύνδεση των υποστυλωμάτων με περβάζια, δοκούς κ.λπ. Η δομή της είναι αρκετά απλή, με τον τένοντα που έχει δημιουργηθεί από τον τεχνίτη να εισέρχεται στην εγκοπή και καρφώνοντας δύο σφήνες να χωρίζεται, να ανοίγει και έτσι να σφηνώνεται εντός της εγκοπής ώστε να διασφαλίζεται η σταθερότητα του κόμβου.

Εικόνα 16. «Εξωτερική οπτική της άρθρωσης Warikusabi»

Εικόνα 17. «Διατομή άρθρωσης Warikusabi»

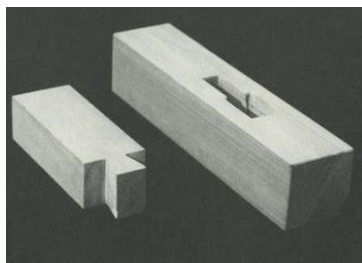


Εικόνα 18. «Διατομή άρθρωσης Jigokuhozo»

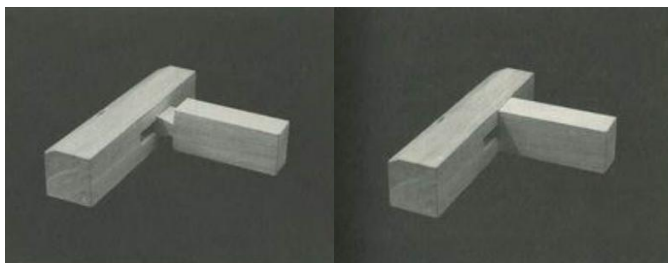
Παρόμοια με την προηγούμενη τεχνική είναι η **άρθρωση Jigokuhozo**, που χρησιμοποιείτε συνήθως στους βραχίονες της μαρκίζας, στους κρεμαστούς στύλους (tsurizuka) και σε περιπτώσεις που η συνδεσμολογία επιλέγεται να μείνει κρυφή. Η διαφορά των δύο, είναι στη σειρά της διαδικασίας. Σε αυτή την περίπτωση πρώτα καρφώνονται ελαφρά οι δύο σφήνες στον τένοντα και έπειτα ο τένοντας σφηνώνεται στην εγκοπή. Αφού οι σφήνες ακουμπήσουν και πιεστούν από τον πάτο της εγκοπής, τότε θα καρφωθούν στον τένοντα και θα τον ανοίξουν, με αποτέλεσμα η σύνδεση αυτή να κλειδώσει. Η δεύτερη τεχνική αφορά τις αρθρώσεις στις οποίες δεν γίνεται χρήση σφήνας, αλλά τα δύο στοιχεία



συρταρώνουν το ένα στο άλλο και έτσι επιτυγχάνεται η αγκύρωση. Πρώτο παράδειγμα, η **άρθρωση Okuriari**, η οποία παρατηρείται κατά βάση στους κρεμαστούς στύλους (tsurizuka), με τα δύο κομμάτια της σύνδεσης να θηλυκώνουν μεταξύ τους. Μια ψαλιδωτή σύνδεση, εισέρχεται στην εγκοπή και μετατοπίζεται στο πλάι, προς στο πιο στενό κομμάτι της. Τέλος, τοποθετείται ένα επιπλέον κομμάτι ξύλο στο κενό που δημιουργείται για να εξασφαλιστεί ότι δεν θα αποσυναρμολογηθεί με ευκολία η άρθρωση.

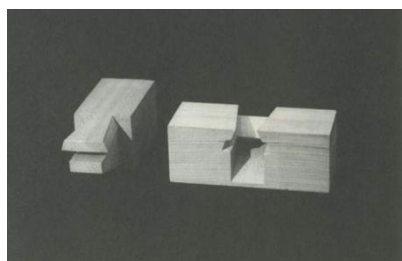


Εικόνα 20. «Διατομή άρθρωσης Jigokuhozo»

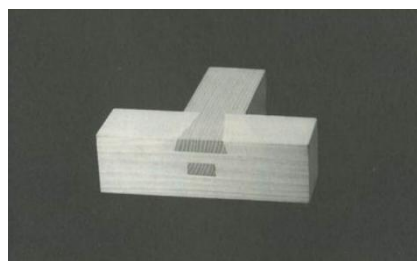


Εικόνα 19. «Κολλάζ φωτογραφιών της συναρμολόγησης της άρθρωσης Okuriari»

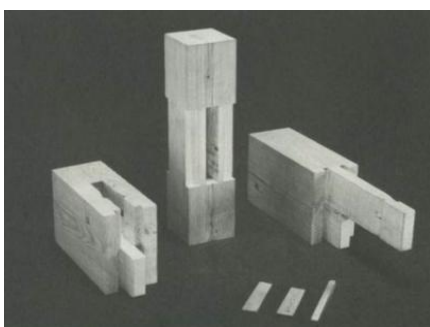
Λίγο διαφορετικής λογικής, αλλά της ίδιας κατηγορίας είναι η **άρθρωση διπλού τένοντα Sumiyoshi**. Ο επάνω τένοντας είναι ένα ψαλίδι με δύο άνισα τμήματα, το ένα μικρό και ορθογώνιο και το άλλο πιο μεγάλο και τραπέζιο. Ο κάτω τένοντας είναι ορθογωνικός, με τη μια πλευρά του να λεπταίνει. Η ένωση τους γίνεται απλά συρταρώνοντας τον τένοντα με τα δύο δόντια στην εγκοπή, με την κλίση της λεπτής επιφάνειας του κάτω τένοντα. Η ειδοποιός διαφορά της συγκεκριμένης τεχνικής είναι ότι επιτυγχάνει τη σωστή δομή και αγκύρωση της, λόγω της γεωμετρίας των διατομών του κάθε τένοντα και όχι λόγω κάποιας προσθήκης, όπως οι προηγούμενες.



Εικόνα 21. «Κομμάτια άρθρωσης διπλού τένοντα Sumiyoshi»



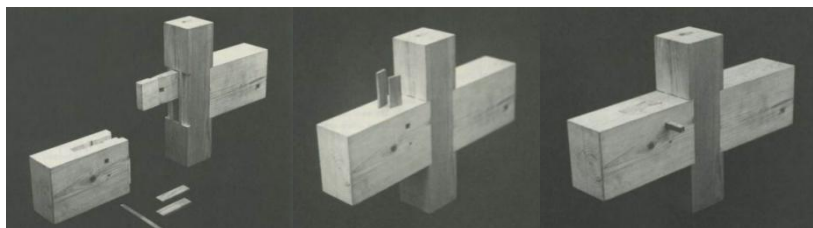
Εικόνα 22. «Εξωτερική οπτική άρθρωσης διπλού τένοντα Sumiyoshi»



Εικόνα 23. «Κομμάτια άρθρωσης διπλής σφήνας»

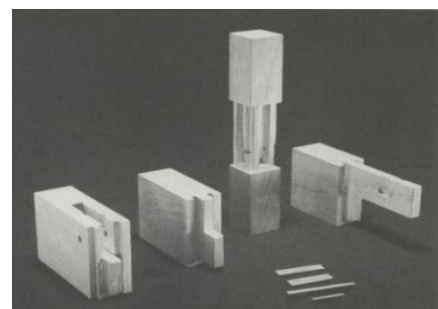
Η τρίτη τεχνική αναφέρεται σε συνδυασμό των προηγούμενων αλλά και άλλων τεχνικών σε μία άρθρωση. Η **άρθρωση της διπλής σφήνας (double plug)** συνδέει δύο δοκάρια στις απέναντι πλευρές ενός υποστυλώματος, με αυτά να συνδέονται εντός της διατομής του υποστυλώματος. Ένα από τα δύο δοκάρια έχει μεγαλύτερο τένοντα και είναι αυτό που συνδέεται πρώτο στην εγκοπή της κολόνας. Μετέπειτα τοποθετείται το δεύτερο δοκάρι και μετατοπίζεται προς τα εμπρός έτσι ώστε να οι κάτω τένοντες, των δύο δοκαριών, να ακουμπήσουν μεταξύ τους στο κέντρο της κολόνας. Όσο μεγαλύτερα είναι τα κομμάτια της άρθρωσης, τόσο πιο στιβαρή θα είναι και η κατασκευή. Για να έχει, όμως, αρκετή αντοχή σε εφελκυσμό χρειάζεται η τοποθέτηση δύο κλειδιών και ενός καρφιού, στις εσοχές που δημιουργούνται λόγω των διατομών όταν συνδέονται οι δύο δοκοί, για να συγκρατήσουν την σύνδεση ενωμένη και στιβαρή. Αν τοποθετηθεί μόνο ένα από τα δύο, τότε η κατασκευή θα είναι ανεπαρκής και κατά πάσα πιθανότητα δεν θα αντέξει τα φορτία που θα της ασκηθούν. Στην συγκεκριμένη σύνδεση πρέπει να δοθεί σημαντική προσοχή, διότι η σύνδεση των δοκών πρέπει να είναι αρκετά σφιχτή

πριν εισαχθούν τα κλειδιά και το καρφί, αλλιώς τα στοιχεία του κόμβου μπορεί να εκτεθούν σε μεγάλες πιέσεις.



Εικόνα 24. «Κολάζ φωτογραφιών της συναρμολόγησης της άρθρωσης διπλής σφήνας»

Ίδιας λογικής είναι και η **άρθρωση της τριπλής σφήνας**, όπου συνδέει τρεις δοκούς σε 3 πλευρές του υποστυλώματος. Οι δύο αντίθετες δοκοί τοποθετούνται εσωτερικά του υποστυλώματος με τις λαξευμένες διατομές τους να αφήνουν ένα κενό από την μέση και πάνω, ώστε να έρθει η τρίτη δοκός και να κλειδώσει τον κόμβο. Η διαδικασία συναρμολόγησης είναι η αντίθετη από την παραπάνω περιγραφή, πρώτα τοποθετείται η κάθετη δοκός και μετά εισέρχονται στην εγκοπή οι άλλες δύο. Φυσικά, και με την τριπλή σφήνα γίνεται χρήση κλειδιών και καρφιών σε συγκεκριμένα σημεία, που λαξεύονται από πριν.

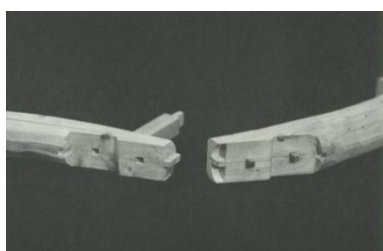


Εικόνα 25. «Κομμάτια άρθρωσης τριπλής σφήνας»

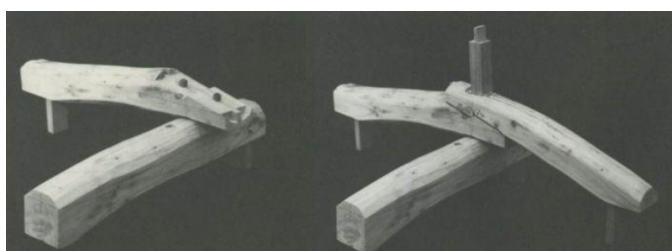
Τέλος, θα αναφερθούν δύο ακόμα συνδέσεις, που αφορούν την στήριξη της στέγης. Το πρώτο παράδειγμα, είναι το **σύστημα "Kgoro"** με τα δοκάρια της μαρκίζας να βρίσκονται πάνω από τις κολόνες στους εξωτερικούς τοίχους. Τα δοκάρια που χρησιμοποιούνται σε αυτή την σύνδεση είναι τύπου rainbow (ουράνιο τόξο), με την ονομασία τους να προέρχεται από το κοίλο σχήμα της δοκού, δηλαδή το σχήμα του ουράνιου τόξου. Η δοκός αυτή έχει λαξευμένη, στην άκρη της, μια ψαλιδωτή σύνδεση η οποία χωνεύεται στο δοκάρι της μαρκίζας. Στο δοκάρι της μαρκίζας λαξεύεται η πάνω παρειά του και δημιουργείται μια εσοχή ίση με το πλάτος της δοκού rainbow για να λειτουργήσει ως βάση και να παραλάβει αλλά και να στηρίξει επαρκώς τη δοκό. Μία ακόμα εσοχή δημιουργείται, για τον ίδιο λόγο, αλλά αυτή τη φορά στην δοκό rainbow, για να χωνευτούν τεγίδες.

Πολλές φορές η σύνδεση μεταξύ δοκών πρέπει να δεθεί με ένα εσωτερικό σύστημα δοκών και στύλων, μια τέτοια περίπτωση είναι η σύνδεση **Koyadaimochi**. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της είναι ότι ούτε η κάτω δοκός πρόσδεσης ούτε η πάνω, υφίστανται μείωση της διατομής στο σημείο συναρμογής τους. Τα δύο

δοκάρια λαξεύονται στις άκρες τους, δημιουργώντας δύο σκαλοπάτια, στις εγκοπές τους, με αντίθετη κατεύθυνση για να εφαρμόζουν το ένα με το άλλο. Στο κέντρο του κάθε σκαλοπατιού παρατηρείται μια εσοχή, στο ένα δοκάρι, και μια προεξοχή στο άλλο, ώστε αυτά τα δύο να κουμπώσουν μεταξύ τους και να σφηνώσουν σε μια συγκεκριμένη θέση. Στο διάγραμμα φαίνεται η διάταξη ενός τέτοιου συνδέσμου που προβλέπεται να προστεθεί στην κορυφή του ένα στύλος για την στήριξη της στέγης. Συνήθως τέτοιου τύπου στύλοι κατανέμονται ομοιόμορφα κατά μήκος της δοκού για να μην καταπονούνται κάποιοι περισσότερο από άλλους, λόγω των φορτίων της στέγης.



Εικόνα 28. «Κομμάτια της σύνδεσης Koyadaimochi»



Εικόνα 29. «Κολάζ φωτογραφιών της συναρμολόγησης της σύνδεσης Koyadaimochi»

## 1.5 Ξύλινες κατασκευές στον υπόλοιπο κόσμο

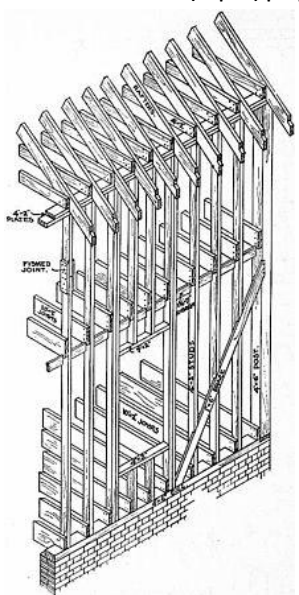
### 1.5.1. Αμερική: Η ξύλινη ελαφριά κατασκευή

Το επικρατέστερο σύστημα που χρησιμοποιείται για την κατασκευή μονοκατοικιών στις Η.Π.Α είναι η ελαφριά ξύλινη κατασκευή. Όταν οι Ευρωπαίοι άποικοι πήγαν για πρώτη φορά στις Ηνωμένες Πολιτείες επέλεξαν να κατασκευάσουν πολλά σπίτια και εμπορικά κτίρια από ξύλο, διότι ήταν εύκολα διαθέσιμο και επειδή οι κατασκευές από ξύλο μπορούσαν να κατασκευαστούν πιο γρήγορα απ' ό,τι αν γινόταν χρήση τούβλων ή τσιμέντου. Η αμερικάνικη αποικιακή αρχιτεκτονική περιλαμβάνει ποικίλα παραδείγματα σχεδιασμού κτιρίων που σχετίζονται με την αποικιακή περίοδο, όπως η Αγγλική, η Γαλλική, η Ισπανική, η Ολλανδική και η Γεωργιανή. Αυτά τα στυλ σχετίζονται με τα σπίτια, τις εκκλησίες και τα κυβερνητικά κτίρια της περιόδου από το 1600 μ.Χ έως τον 19<sup>ο</sup> αιώνα.



Εικόνα 30. «Φωτογραφία ενός παραδοσιακής αμερικάνικης κατοικίας»

Σήμερα, ο φέρον οργανισμός από ξύλο προτιμάται από τους αμερικάνους κατασκευαστές κατοικιών διότι, αφενός, η αμερικάνικη οικοδομική βιομηχανία είναι εξοικειωμένη με τη μέθοδο της ξύλινης κατασκευής, αφετέρου, οι μονάδες κατασκευής, δηλαδή οι δοκοί, τα υποστυλώματα κ.λπ, έχουν μικρές διαστάσεις και μεταφέρονται με ευκολία. Επίσης, οι κατασκευές με ξύλινο σκελετό μπορούν να ανεγερθούν χωρίς την ανάγκη εξειδικευμένων εργαλείων ή μεγάλου εξοπλισμού. Τα δομικά σύνολα, όπως η οροφή, τα δάπεδα και οι τοίχοι, κατασκευάζονται γενικά με μέλη ξυλείας 5 εκατοστών και βάθος από 10 έως 30 εκατοστά και επενδύονται με ξύλινα πάνελ για σταθερότητα και ασφάλεια, όπως κόντρα πλακέ. Η κατασκευή του σκελετού χωρίζεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, την κατασκευή του βαρέως σκελετού εάν οι κατακόρυφες στηρίξεις είναι λίγες και βαριές ή την κατασκευή ελαφρού σκελετού εάν οι στηρίξεις είναι περισσότερες και μικρότερες. Οι σύγχρονες κατασκευές ελαφρού σκελετού συνήθως αποκτούν αντοχή από άκαμπτα πάνελ, όπως κόντρα πλακέ και άλλα παρόμοια υλικά, όπως η σανίδα OSB που χρησιμοποιείται για να σχηματίσει το σύνολο ή μέρος της τοιχοποιίας, αλλά μέχρι πρόσφατα οι ξυλουργοί χρησιμοποιούσαν διάφορες μορφές διαγώνιας αντιστήριξης για τη σταθεροποίηση των τοίχων.



Η ξυλοκατασκευή είναι μια μέθοδος που περιλαμβάνει τη χρήση μεγάλων ξύλινων δοκών και στύλων για τη δημιουργία του βασικού δομικού πλαισίου του κτιρίου. Τα πλαίσια αυτά, συγκρατούνται μεταξύ τους με τη χρήση ξυλουργικών τεχνικών, όπως οι συνδέσεις εγκοπών και τενόντων, ή με τη χρήση καρφιών και μεταλλικών συνδετήρων. Το δομικό σύστημα των αμερικάνικων παραδοσιακών κατοικιών χαρακτηρίζεται από μερικά βασικά στοιχεία. Οι κατοικίες αυτές διαθέτουν συνήθως ένα σύστημα κατακόρυφων στύλων που στηρίζουν οριζόντιες δοκούς. Αυτός ο σχεδιασμός επιτρέπει ικανοποιητικούς ανοιχτούς εσωτερικούς χώρους και παρέχει ευελιξία στις κατόψεις. Τον 19<sup>ο</sup> αιώνα, η τεχνική “Balloon Framing” έγινε δημοφιλής αντικαθιστώντας την παραδοσιακή διαμόρφωση με ξύλο (βλ. Εικόνα 31). Η συγκεκριμένη τεχνική περιλαμβάνει τη διαμόρφωση ολόκληρου του ύψους της κατασκευής με μεγάλους, συνεχείς ορθοστάτες από τα θεμέλια έως την οροφή, επιτρέποντας την ταχύτερη κατασκευή. Τον 20<sup>ο</sup> αιώνα, η διαμόρφωση πλατφόρμας έγινε πρότυπο, για τέτοιου είδους οικοδομήματα, με τοίχους χτισμένους ο ένας επάνω στον άλλον

Εικόνα 31. «Σκίτσο τεχνικής Balloon Framing»

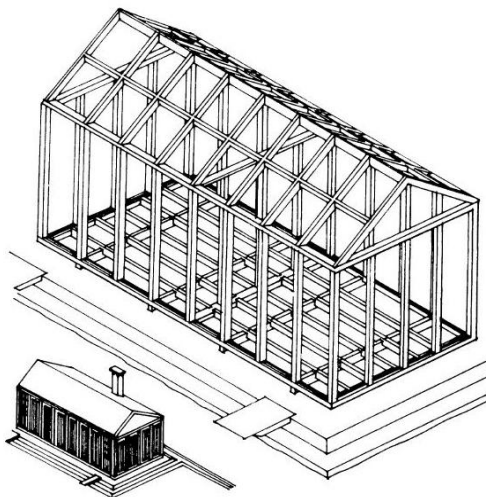
παρέχοντας μεγαλύτερη σταθερότητα και φέρουσα ικανότητα. Οι εξωτερικοί τοίχοι επενδύονται συχνά με ξύλινη επένδυση από καπλαμά ή άλλα πετάσματα, προσθέτοντας στην αισθητική των σπιτιών. Τέλος, ένα ακόμα χαρακτηριστικό, των παραδοσιακών αμερικάνικων ξύλινων ελαφριών κατασκευών, είναι μια απότομη, δίρριχτη στέγη, η οποία πέραν της διαχείρισης του νερού από τις βροχοπτώσεις, παρέχει και ικανοποιητικό χώρο για αποθήκες ή κάποιον πρόσθετο χώρο διαβίωσης.

Τα δομικά συστήματα ποικίλουν, ανάλογα με την περιοχή, με επιρροές από αποικιακά, βικτοριανά και άλλα αρχιτεκτονικά στυλ. Αυτές οι κατασκευές σχεδιάστηκαν για να αντέχουν το εκάστοτε τοπικό κλίμα, από τους σκληρούς χειμώνες της Αγγλίας μέχρι τα υγρά καλοκαίρια του Νότου της Αμερικής. Επιπλέον, αυτά τα σπίτια φημίζονται για την προσαρμοστικότητά τους, η οποία επέτρεψε να χτιστούν γρήγορα, αποτελεσματικά και με σχετικά χαμηλό κόστος. Αυτό τα έκανε προσιτά σε ένα ευρύ φάσμα ανθρώπων, συμβάλλοντας στην εξάπλωση της προαστιακής κατοικίας και στην ανάπτυξη του αμερικανικού ονείρου.

### 1.5.2. Αυστραλία: Εξέλιξη των λυόμενων κτισμάτων

Τα λυόμενα κτίσματα αποτελούν κατασκευές που δημιουργούνται μέσω της συναρμολόγησης των βιομηχανικά προκατασκευασμένων μερών τους παράγοντας δομές με μεταλλικό ή ξύλινο ή συνθετικό σκελετό ή ακόμα και δομές εφελκυσμένης μεμβράνης.

Στη μορφή και την τεχνική τους αναγνωρίζεται η κατασκευαστική παράδοση των νομαδικών σκηνών, η παράδοση του τσίρκου του 18<sup>ου</sup> και 19<sup>ου</sup> αιώνα και το Μεταφερόμενο Αποικιακό σπίτι (Portable Colonial Cottage). Το Μεταφερόμενο Αποικιακό σπίτι κατασκευάζεται το 1830 από τον Άγγλο John Manning, που δημιουργεί αυτή την προκατασκευασμένη ξύλινη δομή με στόχο την ταχεία και οικονομική εγκατάστασή της, για τη στέγαση των Ευρωπαίων αποίκων στην Αυστραλία. Όπως και οι υπόλοιπες λυόμενες κατασκευές, έτσι και αυτή, εφαρμόζει για την συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση της την τεχνική των τυποποιημένων επαναλαμβανόμενων στοιχείων-ενοτήτων. Η τεχνική αυτή έχει ως αποτέλεσμα, η τελική μορφή της κατασκευής να χαρακτηρίζεται από συμμετρία και κανονικότητα. Έτσι, η κατασκευή απομακρύνεται από τη λογική του παζλ, των πολλών και διαφορετικών κομματιών που το καθένα αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη θέση. Σκοπός αυτού, αποτελεί η τυποποίηση όχι μόνο των εξαρτημάτων, αλλά και των κινήσεων και των ενεργειών που χρειάζονται για συναρμολογηθεί η κάθε κατασκευή, γεγονός που την καθιστά γρήγορη, εύκολη και οικονομική κατά την εγκατάσταση και την απεγκατάσταση της. Αυτού του τύπου η κατασκευή αποτέλεσε πρότυπο για την μετέπειτα λογική της γρήγορης δόμησης και της προκατασκευής, όντας ένα από τα πρώτα παραδείγματα προκατασκευασμένων κομματιών που συναρμολογούνταν, επιτόπου, στο εργοτάξιο.



Εικόνα 32. «Portable Colonial Cottage. Σχεδιασμένο για διαφήμιση, 1837, Αυστραλία»



### 1.5.3. Η καλύβα στην σαβάννα της Αφρικής



Εικόνα 33. «Ξύλινες καλύβες στην Ναμίμπια»

Οι αφρικάνικες ξύλινες καλύβες αποτελούν τεράστιο κομμάτι της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής της ηπείρου της Αφρικής. Αυτές οι απλές αλλά έξυπνα σχεδιασμένες κατασκευές αποτελούν εδώ και αιώνες ζωτικό χαρακτηριστικό των αφρικανικών πολιτισμών και κοινωνιών. Παραδείγματα τους βρίσκονται σε όλη την ήπειρο, αντανακλώντας ποικίλες πολιτιστικές και περιβαλλοντικές επιρροές, από τις απέραντες σαβάνες της Ανατολικής Αφρικής μέχρι τα πυκνά τροπικά δάση της Κεντρικής Αφρικής. Οι καλύβες αυτές έχουν βαθιά πολιτισμική και συμβολική σημασία. Συχνά συνδέονται με την κοινοτική διαβίωση και έχουν κεντρική θέση σε πολλές

παραδοσιακές τελετές και τελετουργίες. Δεν είναι απλώς κατασκευές, αλλά χρησιμεύουν ως στοιχεία που συμβάλλουν στην διατήρηση και μετάδοση της πολιτιστικής γνώσης και κληρονομιάς, καθώς είναι διακοσμημένες με συμβολικά έργα τέχνης και σχέδια που μεταφέρουν την ιστορία και τις πεποιθήσεις της κοινότητας.

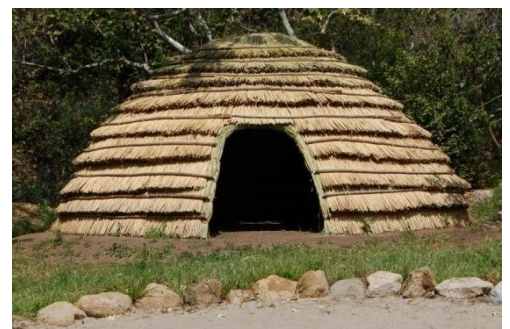
Η κατασκευή της καλύβας γινόταν με διάφορα υλικά, με επικρατέστερο το ξύλο. Ο σκελετός της καλύβας αποτελείται από ξύλινους στύλους ή κλαδιά που προέρχονται από την περιοχή. Αυτά τα ξύλινα στοιχεία δημιουργούν την βασική δομή της καλύβας, χρησιμεύοντας ως κάθετα και οριζόντια στηρίγματα. Η επιλογή του ξύλου διαφέρει ανάλογα με τη διαθεσιμότητα της περιοχής. Η οροφή της καλύβας είναι συχνά καλαμωτή με φυτικά υλικά όπως χόρτο, φύλλα φοίνικα ή καλάμια, παρέχοντας μόνωση και προστασία από τα στοιχεία της φύσης, διατηρώντας παράλληλα το εσωτερικό δροσερό σε ζεστό καιρό και ζεστό υπό πιο κρύες συνθήκες. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι τοίχοι της καλύβας κατασκευάζονται με ένα μείγμα λάσπης και πυλού, το οποίο εφαρμόζεται επάνω σε ένα ξύλινο πλαίσιο (Βλ. Εικόνα 34). Αυτή η τεχνική εξασφαλίζει την στιβαρότητα και λειτουργεί ως αποτελεσματικός θερμομονωτικός παράγοντας. Πολλές αφρικανικές καλύβες χαρακτηρίζονται από τον κυκλικό σχεδιασμό τους. Ο σχεδιασμός αυτός δεν είναι μόνο οπτικά ελκυστικός αλλά παρέχει επίσης δομική σταθερότητα σε περιοχές με ισχυρούς ανέμους και κακές καιρικές συνθήκες. Τέλος, οι καλύβες έχουν συνήθως χαμηλό, κωνικό ή θολωτό προφίλ έτσι ώστε να μειώνεται ο κίνδυνος ζημιών από τον άνεμο και να επιτρέπεται ο αποτελεσματικός εξαερισμός (Βλ. Εικόνα 35,36).



Εικόνα 34. «Παράδειγμα καλύβας με εφαρμοσμένο το μείγμα λάσπης και πυλού στο ξύλινο πλαίσιο»



Εικόνα 35. «Φωτογραφία καλύβας με κωνικό προφίλ»



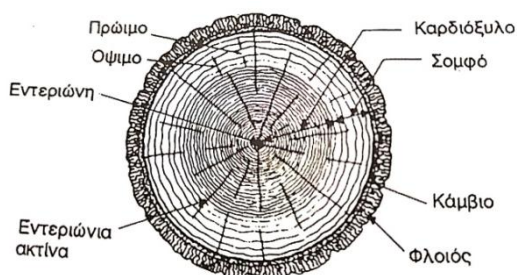
Εικόνα 36. «Φωτογραφία καλύβας με θολωτό προφίλ»

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>: Η νέα εποχή των ξύλινων κατασκευών

### 2.1 Το ξύλο ως υλικό

#### 2.1.1 Γενικά χαρακτηριστικά ξύλου

Το ξύλο, όπως έγινε κατανοητό και στο προηγούμενο κεφάλαιο, υπηρετεί τον άνθρωπο από τότε που αυτός εμφανίστηκε στη Γη, και έχει συντελέσει αποφασιστικά στην επιβίωση του και στην ανάπτυξη του πολιτισμού. Μετά από τόσες χιλιάδες χρόνια που χρησιμοποιείται για κατασκευές, το ξύλο, εξακολουθεί να αποτελεί την πρώτη ύλη ενός πολύ μεγάλου αριθμού προϊόντων. Σε αυτή την υποενότητα θα αναλυθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του υλικού αυτού, μαζί με κάποια χαρακτηριστικά της δομής του.

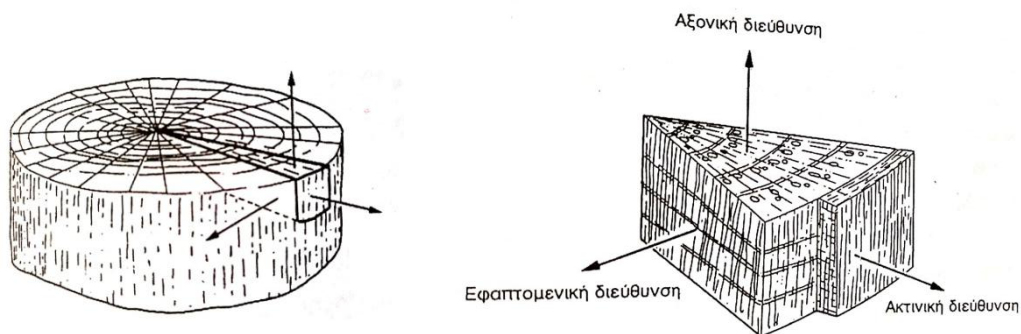


Εικόνα 37. «Ενδεικτική τομή κορμού»

Μέσω μιας εγκάρσιας τομής ενός κορμού, αποκαλύπτονται διάφορα χαρακτηριστικά μέρη της δομής του. Ο μικρός πυρήνας στο κέντρο της διατομής ονομάζεται εντεριώνη, ή «ψύχα», γύρω από αυτή, με σκοτεινό χρώμα, βρίσκεται το καρδιόξυλο, ή «καρδιά». Το καρδιόξυλο περιβάλλεται από το σομφό, με πιο ανοιχτό χρώμα, και, εν συνεχεία, υπάρχει μια πάρα πολλή λεπτή στρώση, το κάμβιο, που αποτελεί τον κύριο φορέα των θρεπτικών χυμών. Το κάμβιο περιβάλλεται από το φλοιό, που χωρίζεται στον εσωτερικό, ή ζωντανό φλοιό, και στον εξωτερικό, ή ξηρό.

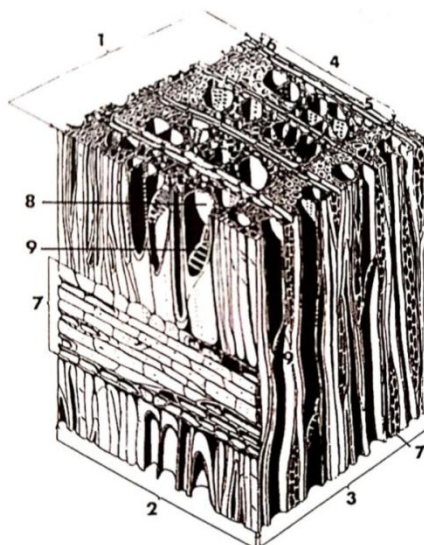
Ακόμα ένα αρκετά ενδιαφέρον χαρακτηριστικό του ξύλου αποτελούν οι ετήσιοι, ή αυξητικοί, δακτύλιοι, αυτές οι λεπτές ομόκεντρες στρώσεις γύρω από την εντεριώνη, στο καρδιόξυλο και στο σομφό, που κατά κανόνα κάθε ένας από αυτούς τους δακτυλίους σχηματίζεται κατά τη διάρκεια ενός έτους. Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι οι εντεριώνιες ακτίνες, με πάχος ενός κυττάρου και ύψους πολλών κυττάρων, έως 70-100 χιλιοστά. Οι ακτίνες αυτές χρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις πρωτογενείς, που κατευθύνονται ακτινικά από τον φλοιό μέχρι την εντεριώνη και τις δευτερογενείς που κατευθύνονται μακριά από την εντεριώνη μέχρι τους αυξητικούς δακτυλίους. Χαρακτηριστικό του ξύλου στις εντεριώνιες ακτίνες είναι η μεγαλύτερη σκληρότητα.

Το ξύλο, όπως συμπεραίνεται από την παραπάνω ανάλυση, είναι ένα υλικό του οποίου η δομή δεν είναι ίδια καθ' όλο τον όγκο του, αλλά είναι διαφορετική σε τρεις διευθύνσεις, την αξονική, την ακτινική και την εφαπτομενική και στις αντίστοιχες τομές.



Εικόνα 38. Κύριες διευθύνσεις ξύλου

Το ξύλο, λόγω της δομής του, έχει μεγάλη μηχανική αντοχή σε αξονικό εφελκυσμό, θλίψη, με την αντοχή σε αξονική θλίψη να είναι 10-15 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με την εγκάρσια θλίψη, και κάμψη. Η αντοχή σε κάμψη, και ειδικότερα σε στατική κάμψη, είναι η σπουδαιότερη μηχανική ιδιότητα του ξύλου. Επίσης, έχει μεγαλύτερη ελαστικότητα από άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται σήμερα, δηλαδή κάμπτεται περισσότερο κάτω από ένα ορισμένο φορτίο. Η σκληρότητα του υλικού, που αλλάζει ανάλογα με το είδος του ξύλου, παίζει και αυτή σημαντικό ρόλο καθώς έχει άμεση εφαρμογή σε ορισμένες χρήσεις του, όπως το παρκέ, τα εξωτερικά δάπεδα (decks) κ.ά. Για όλες αυτές τις ικανότητες, το ξύλο, έχει λίγο βάρος σε σχέση με την μεγάλη μηχανική αντοχή που διαθέτει. Συνεχίζοντας, το ξύλο αποτελεί μονωτικό στη θερμότητα και στον ηλεκτρισμό, έχει μικρή θερμική συστολή και διαστολή και καλές ακουστικές ιδιότητες, για αυτό και χρησιμοποιείται σε αίθουσες μουσικής. Δεν οξειδώνεται, δηλαδή έχει σημαντική αντοχή σε αραιά διαλύματα οξέων τα οποία θα μπορούσαν να επιφέρουν διάβρωση του υλικού. Η κατεργασία του είναι σχετικά εύκολη με μικρή κατανάλωση ενέργειας, όπως και η σύνδεση του. Ένα ακόμα θετικό του συγκεκριμένου υλικού είναι ότι αποτελεί ανανεώσιμη πρώτη ύλη, σε αντίθεση με το πετρέλαιο, τα μεταλλεύματα και τον γαιάνθρακα που σταδιακά εξαντλούνται. Επίσης, δεν ρυπαίνει το περιβάλλον, καθώς κάτω από κατάλληλες συνθήκες αποσυντίθεται.



Εικόνα 39. Δομή Ξύλου:

1. Εγκάρσια τομή
2. Ακτινική τομή
3. Εφαπτομενική τομή
4. Αυξητικός δακτύλιος
5. Πρώμο ξύλο
6. Όψιμο ξύλο
7. Εντεριώνια ακτίνα
8. Αγγείο
9. Διάτρηση

Οποιοδήποτε υλικό, όπως είναι λογικό, πέρα από πλεονεκτήματα-ιδιότητες έχει και μειονεκτήματα. Το ξύλο είναι ένα υγροσκοπικό υλικό, συγκρατεί δηλαδή την υγρασία όταν έρχεται σε επαφή με το νερό ή με υδρατμούς. Έτσι κατά την πρόσληψη ή απώλεια υγρασίας, μέσα σε όρια, μεταβάλλονται οι διαστάσεις του και σε ορισμένες περιπτώσεις προκαλούνται προβλήματα σε προϊόντα και κατασκευές. Είναι ανισότροπο υλικό, παρουσιάζει διαφορετικές μηχανικές αντοχές και διαφορετική μεταβολή διαστάσεων σε διαφορετικές αυξητικές διευθύνσεις. Επίσης, ίσως και το σημαντικότερο μειονέκτημα που απασχολεί τον περισσότερο κόσμο, είναι πως καίγεται και σαπίζει. Αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο, η διπλή σημασία των μειονεκτημάτων του ξύλου που προαναφέρθηκαν. Η υγροσκοπικότητα του αποτελεί μειονέκτημα κυρίως διότι σχετίζεται με την αυξομείωση των διαστάσεών του, αλλά αυτή η μεταβολή, με κατάλληλη ξήρανση πριν την χρήση και με άλλα μέτρα, μπορεί να περιοριστεί σε βαθμό που να μην υπάρχουν ανεπιθύμητες συνέπειες στην πράξη. Η ανισοτροπία του, δεν είναι πάντα αρνητικό χαρακτηριστικό γιατί για ορισμένες φορτίσεις θεωρείται πλεονέκτημα και πρακτικά εξουδετερώνεται σε μεταποιημένα προϊόντα, όπως αντικολλητά (κόντρα-πλακέ), μοριοπλάκες, ινοπλάκες και χαρτί. Το ξύλο μπορεί να είναι εύφλεκτο, αλλά υπάρχουν δυνατότητες αντιπυρικής προστασίας. Μπορεί να σαπίζει, αλλά με την διαδικασία του εμποτισμού χημικών ουσιών μπορεί να επιμηκύνει πολλαπλάσια την διάρκεια ζωής του. Επιπλέον, για να υπάρξει σήψη χρειάζονται συγκεκριμένες προϋποθέσεις όπως θερμοκρασία, υγρασία, αέρας και τροφή για τους μύκητες. Αν ένας παράγοντας, από όλους αυτούς, ανασταλεί, το ξύλο διαρκεί αιώνια, όπως έχει αποδειχθεί από έπιπλα που βρέθηκαν αναλλοίωτα, σε άριστη κατάσταση, μέσα σε τάφους Φαραώ. Τέλος, η μεταβλητότητα δομής και ιδιοτήτων αντιμετωπίζεται στην πράξη με ποιοτική ταξινόμηση και υπάρχει σε όλα τα φυσικά προϊόντα.



### 2.1.2 Υλοτομία και κατεργασία

Το ξύλο αποτελεί ένα οργανικό προϊόν, δηλαδή ένα προϊόν από ζώντες οργανισμούς, τα δένδρα. Αυτά διακρίνονται σε κωνοφόρα, που δίνουν τη «μαλακή» ξυλεία, και τα πλατύφυλλα που δίνουν την «σκληρή». Στη δομική ξυλεία το μεγαλύτερο ποσοστό των πόρων προέρχεται από τα κωνοφόρα δένδρα (π.χ πεύκο, έλατο).

Όλη η διαδικασία της δημιουργίας ξύλινων δομικών στοιχείων ξεκινάει από την υλοτομία. Η υλοτομία είναι η διαδικασία κοπής των δένδρων, κατά βάση γίνεται τους χειμερινούς μήνες, έτσι ώστε να είναι σχετικά μικρή η ποσότητα των χυμών των δένδρων και κυρίως για να ελαχιστοποιούνται οι αλλοιώσεις λόγω καιρικών συνθηκών. Γενικά, προτιμούνται τα υγιή δένδρα με ίσιους και κατακόρυφους κορμούς, η κοπή των οποίων γίνεται κοντά στο έδαφος. Μετά την πτώση των δένδρων αφαιρούνται η κορυφή, τα μικρά κλαδιά και, τέλος, τα μεγάλα κλαδιά όπου μαζί με τον κορμό θα χρησιμοποιηθούν για να δημιουργηθεί η δομική ξυλεία. Οι κορμοί υποβάλλονται στην αντίστοιχη προκατεργασία, ανάλογο με την χρήση για την οποία προορίζονται. Έτσι, όσοι κορμοί προορίζονται για στρογγυλή ξυλεία αποφλοιώνονται και εξομαλύνονται επιφανειακά, ώστε να αφαιρεθούν τυχόν εξογκώματα. Αυτοί που θα δώσουν την πελεκητή ξυλεία αποφλοιώνονται και πελεκίζονται σε ορθογωνικά τεμάχια με την αφαίρεση των τεσσάρων εξωτερικών τμημάτων. Οι κορμοί που προορίζονται για την πριστή, δηλαδή πριονιστή, ξυλεία υφίστανται απλά αποφλοίωση.



Εικόνα 42. «Στρογγυλή ξυλεία»



Εικόνα 40. «Πελεκητή ξυλεία»



Εικόνα 41. «Πριστή ξυλεία»

Όπως παρατηρείται και παραπάνω, η αποφλοίωση είναι βασικό βήμα, της προκατεργασίας, σε όλες τις κατηγορίες δομικής ξυλείας. Βασικά πλεονεκτήματα της αποφλοίωσης είναι η συμβολή της στην προστασία του ξύλου από έντομα και μύκητες κατά τη διάρκεια μακράς παραμονής στο δάσος και στη διευκόλυνση μεταφοράς λόγω της μείωσης του βάρους. Ενώ τα κύρια μειονεκτήματά της είναι τα πρόωρα «σκασίματα» του ξύλου και οι επιφανειακές φθορές που είναι πιθανό να δημιουργηθούν κατά την μεταφορά. Τέλος, το επόμενο στάδιο, μετά την υλοτομία και την προκατεργασία, είναι η κατεργασία και περιλαμβάνει την έκπλυση, την ξήρανση και για την πριση ξυλεία μόνο, την πρίση.

## 2.2. Το ξύλο ως «σύγχρονη» εναλλακτική προσέγγιση κατασκευής

### 2.2.1. Το συγκριτικό πλεονέκτημα, σε σχέση με το σκυρόδεμα και το μέταλλο

Από τη σκοπιά της επιστήμης των δομικών υλικών, το ξύλο είναι ένα υλικό με πολλά μειονεκτήματα σε σχέση με τα υπόλοιπα σύγχρονα υλικά. Λόγω της ανομοιογένειάς του, το υλικό αυτό μπορεί να καταπονηθεί μόνο προς την κατεύθυνση των ινών του. Για το λόγο αυτό, το ξύλο ως δομικό υλικό μπορεί να αντέξει υψηλά φορτία σε πολυώροφα κτίρια μόνο με τη συγκεκριμένη τοποθέτηση. Οι ποικίλες συνθήκες ανάπτυξης, οι καιρικές επιδράσεις και η διαχείριση των δασών έχουν σημαντικό αντίκτυπο στα μετέπειτα χαρακτηριστικά του υλικού. Ως υλικό αντιδρά με ιδιαίτερα ευαίσθητο τρόπο στις μεταβολές της υγρασίας, καίγεται και όταν εκτίθεται στις καιρικές συνθήκες γίνεται γκρίζο. Πλέον, όμως, εξαιτίας της αυξημένης έρευνας σε ποικίλους τομείς οι μηχανικοί μπορούν να εξουδετερώσουν, συστηματικά, πολλά από αυτά τα μειονεκτήματα. Αυτός είναι ο λόγος που πλέον οι δυνατότητες του ξύλου φτάνουν ή και ξεπερνούν, σε κάποιες περιπτώσεις, τις δυνατότητες του σκυροδέματος και του μετάλλου.

Το οπλισμένο σκυρόδεμα, από την άλλη, είναι ένα εξαιρετικό οικοδομικό υλικό που μπορεί να ανταποκριθεί σε ένα ευρύ φάσμα απαιτήσεων. Το βάρος και η πυκνότητά του το καθιστούν ανώτερο από όλα τα άλλα δομικά υλικά όσον αφορά την ηχομόνωση. Το σκυρόδεμα μπορεί να χυθεί και να παραχθεί σε τοπικό επίπεδο. Χάρη στις εξελιγμένες τεχνολογίες οπλισμού, οι μηχανικοί μπορούν πλέον να το σχεδιάσουν σχεδόν σε οποιοδήποτε σχήμα. Επιπλέον, έχει εξαιρετική αντοχή σε θλίψη και η μάζα του, του προσδίδει ισορροπημένη αντοχή έναντι δονήσεων λόγω της αναλογικά χαμηλής του ικανότητας φόρτισης από ζωντανό φορτίο. Σήμερα, το εργοστασιακό σκυρόδεμα είναι το φθηνότερο δομικό υλικό της αγοράς σε σχέση με τη θλιπτική του αντοχή. Ωστόσο, αν ληφθεί υπόψη και η αποδοτικότητα του υλικού, τότε η σύγκριση φαίνεται διαφορετική. Η δομική βιομηχανική ξυλεία είναι ασυναγώνιστη ως προς την αποτελεσματικότητά της, με μια πυκνότητα μεταξύ  $380 \text{ kg/m}^3$  και  $700 \text{ kg/m}^3$ . Άλλα δομικά υλικά είναι πολλές φορές πιο βαριά και επομένως ακριβότερα, όσον αφορά τη φέρουσα ικανότητά τους, αφού ληφθεί υπόψη το βάρος. Όταν χτίζονται κτίρια με μεγάλα ύψη το δομικό βάρος αποκτά μεγάλη σημασία. Κατά συνέπεια, η αναζήτηση ελαφρύτερων κατασκευών θα γίνεται όλο και πιο σημαντικό ζήτημα στο μέλλον.

Το μέταλλο είναι πολύ ισχυρό τόσο σε εφελκυσμό όσο και σε θλίψη. Έχει υψηλή αναλογία αντοχής/βάρους. Έτσι, το νεκρό βάρος των χαλύβδινων κατασκευών είναι σχετικά μικρό. Η ιδιότητα αυτή καθιστά το υλικό ιδανικό για πολυώροφα κτίρια, γέφυρες, κατασκευές σε έδαφος με χαμηλή φέρουσα ικανότητα του εδάφους και σε περιοχές με υψηλή σεισμική δραστηριότητα. Ο χάλυβας μπορεί να υποστεί πλαστική παραμόρφωση αρκετά πριν από την αστοχία, παρέχοντας έτσι μεγάλη εφεδρική αντοχή. Οι ιδιότητές του μπορούν να προβλεφθούν με υψηλό βαθμό ακρίβειας. Σε αντίθεση με το οπλισμένο σκυρόδεμα, οι ιδιότητές του δεν μεταβάλλονται με το χρόνο. Τα χαλύβδινα μέλη εγκαθίστανται με απλές διαδικασίες στην κατασκευή, γεγονός που καθιστά αρκετά σύντομο τον χρόνο ανέγερσης ενός κτιρίου. Αυτό έχει, συνήθως, ως αποτέλεσμα την ταχύτερη οικονομική απόσβεση σε τομείς όπως το κόστος εργασίας. Επίσης, κάποια ακόμα θετικά του χάλυβα είναι η ευκολία στην επισκευή του και η δυνατότητά του να επαναχρησιμοποιείται. Τέλος, τα χαλύβδινα κτίρια είναι εύκολα επεκτάσιμα με την επανάληψη του δομικού κανάβου.

Συγκριτικά με τα υλικά που προαναφέρθηκαν, η βιομηχανική ξυλεία είναι σημαντικά ελαφρύτερη σε βάρος, παρόλο που έχει σχεδιαστεί για να επιτυγχάνει παρόμοια υψηλά επίπεδα αντοχής. Ένα αμιγώς ξύλινο κτίριο είναι σαφώς ελαφρύτερο από τη συμβατική κατασκευή, απαιτώντας λιγότερο σκυρόδεμα στη θεμελίωση μειώνοντας έτσι το κόστος όσο και την ποσότητα του ενσωματωμένου άνθρακα.

Υπάρχουν δύο συνιστώσες που συμβάλλουν στο χαμηλότερο ενσωματωμένο άνθρακα στη βιομηχανική ξυλεία σε σχέση με το χάλυβα και το σκυρόδεμα. Η πρώτη είναι ο αποφευχθείς άνθρακας από τη μη χρήση σκυροδέματος ή χάλυβα, τα οποία είναι δύσκολο να απαλλαγούν από άνθρακα. Η δεύτερη είναι ο βιογενής άνθρακας που δεσμεύεται στο ξύλο. Υπολογίζεται ότι ένα κυβικό μέτρο ( $m^3$ ) βιομηχανικής ξυλείας δεσμεύει έναν τόνο διοξειδίου του άνθρακα από την ατμόσφαιρα. Αντίθετα, εκτιμάται ότι κάθε τόνος τσιμέντου παράγει περίπου 0,47 τόνους διοξειδίου του άνθρακα και κάθε τόνος χάλυβα παράγει αντίστοιχα περίπου 0,60. Η ξυλεία, όπως ο χάλυβας και το σκυρόδεμα, μπορεί να προκατασκευαστεί πριν την κατασκευή στο εργοτάξιο, γεγονός που μειώνει τον χρόνο κατασκευής επί τόπου, καθώς και, τον θόρυβο και τα τοξικά απόβλητα.

Το 30% των υλικών στις τυπικές κατασκευές καταλήγει σε απόβλητα. Η προκατασκευασμένη βιομηχανική ξυλεία παράγει λιγότερα απόβλητα και από τις δύο, τα οποία κατά κανόνα είναι ανακυκλώσιμα, γεγονός που εξοικονομεί χρόνο, χρήμα και διοξείδιο του άνθρακα.

Επίσης, σε αντίθεση με τον χάλυβα, αυτοπροστατεύεται κατά τη διάρκεια μια πυρκαγιάς καθώς η ξυλεία σπάει εξωτερικά και δημιουργεί ένα στρώμα μόνωσης που προστατεύει το εσωτερικό από ζημιές. Αν υπάρξει οποιαδήποτε ζημιά, οποιοδήποτε μέρος της ξύλινης κατασκευής μπορεί να αποσυναρμολογηθεί και να αντικατασταθεί. Στο τέλος του κύκλου ζωής τους τα μέλη μπορούν να αφαιρεθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν ή επανακατασκευαστούν.

Τέλος, το μικρό βάρος της βιομηχανικής ξυλείας προσδίδει καλή απόδοση σε σεισμικά φορτία, διότι έχει περίπου 25% με 45% της μάζας αντίστοιχων κτιρίων από σκυρόδεμα. Η σημαντική αντοχή της βιομηχανικής ξυλείας, σε σχέση με το βάρος της, επιτρέπει να είναι πολύ πιο αποτελεσματική σε σεισμούς από ότι ο χάλυβας ή το σκυρόδεμα.

## 2.3. Σημείο καμπής για τη δόμηση με ξύλο

### 2.3.1. Η αναθεώρηση του κανονισμού

Οι πόλεις αναπτύσσονται όλο και περισσότερο καθ' ύψος. Οι αυξανόμενες τιμές γης σε συνδυασμό με τη συνεχή μείωση των αδόμητων περιοχών δικαιολογούν συχνά την απόφαση για κάθετη δόμηση. Η, όλο και πιο έντονη, ευαισθητοποίηση σε θέματα βιωσιμότητας και οι πολιτικές συζητήσεις για την κλιματική ουδετερότητα, δίνουν νέα ώθηση στην κατασκευή από ξύλο. Ως εκ τούτου, το ξύλο αναφέρεται όλο και πιο συχνά ως το «δομικό υλικό του 21<sup>ου</sup> αιώνα». Αυτό το οργανικό δομικό υλικό έχει να επιτελέσει σημαντικό ρόλο σε αυτή την εποχή της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Σε πολλές χώρες οι οικοδομικοί κανονισμοί εξακολουθούν να επιβάλλουν περιορισμούς ύψους και εμβαδού στα ξύλινα κτίρια, λόγω των ανησυχιών σχετικά με τη συμπεριφορά του ξύλου σε περίπτωση πυρκαγιάς. Οι ανησυχίες αυτές είναι βαθιά ριζωμένες, αντανακλώντας την αντίδραση στις καταστροφικές πυρκαγιές του 17<sup>ου</sup> έως 19<sup>ου</sup> αιώνα. Ωστόσο, έχουν διεξαχθεί πρωτοποριακές έρευνες σε αυτόν τον τομέα, έχουν παρουσιαστεί λύσεις και έχουν αναπτυχθεί τρόποι σχεδιασμού που συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις της πρόληψης πυρκαγιάς. Το 2005, η Ένωση Ασφαλιστών Πυρός Ελβετίας (VKF) αναθεώρησε τους ελβετικούς κανονισμούς πυρασφάλειας. Έκτοτε, στην Ελβετία μπορούσαν να ανεγείρονται ξύλινα κτίρια μέχρι έξι ορόφων. Λόγω της συνεχούς περαιτέρω ανάπτυξης, των ερευνητικών αποτελεσμάτων και των θετικών εμπειριών, η δεύτερη αναθεώρηση του 2015 επιτρέπει ακόμη και ύψη κτιρίων έως και 100 μέτρα πάνω από το επίπεδο του εδάφους, για ξύλινες φέρουσες κατασκευές. Οι νέοι κανονισμοί δεν βασίζονται πλέον στο οικοδομικό υλικό καθεαυτό, αλλά στην αποτελεσματικότητα των προδιαγραφών προστασίας. Η Ελβετία, πιο συγκεκριμένα, έχει λάβει πιο ευέλικτη θέση σε αυτόν τον τομέα και έχει θεσπίσει κανονισμούς πυροπροστασίας που βασίζονται σε μια καθορισμένη διαδικασία διαχείρισης της ποιότητας. Σε διεθνές επίπεδο, συχνά επιβάλλονται πρόσθετες απαιτήσεις για πολυώροφα κτίρια βιομηχανικής ξυλείας, ειδικά αν οι ξύλινες επιφάνειες σχεδιάζονται για να είναι ορατές.

Οι επιπτώσεις της απελευθέρωσης των κανονισμών πυροπροστασίας της Ελβετίας στα κτίρια που έχουν ολοκληρωθεί ή σχεδιαστεί μέχρι το 2022 είναι απολύτως σαφείς. Το Suurstoff 22, το πρώτο ψηλό ξύλινο υβριδικό κτίριο στην Ελβετία, με ύψος 36 μέτρων, λειτουργεί στο Risch-Rotkreuz από το 2018. Ένα χρόνο αργότερα, το κτίριο «διάδοχος» του, το Arbo, με ύψος 60 μέτρα, εγκαινιάστηκε στην ίδια τοποθεσία. Σχεδιάζονται και πρόκειται να κατασκευαστούν επιπλέον πολυώροφα κτίρια τέτοιου τύπου, μεταξύ των οποίων ένα στην περιοχή Zwhatt στο Regensdorf, ύψους περίπου 75 μέτρων, καθώς και το «Projekt Pi» ύψους 80 μέτρων στο Zug. Ωστόσο, τα σημερινά ρεκόρ για την αρχιτεκτονική κτιρίων με βιομηχανική ξυλεία είναι το Mjostarnet της Νοβηγίας, 85,4 μέτρων, στο Brumunddal, ακολουθούμενος από το Hoho στη Βιέννη με 84 μέτρα ύψος.



Εικόνα 43. «Suurstoff 22, Risch-Rotkreuz, Ελβετία»



Εικόνα 44. «Arbo, Risch-Rotkreuz, Ελβετία»



Εικόνα 45. «Mjostarnet, Brumunddal, Νορβηγία»

### 2.3.2. Περιβάλλον

Η καταπολέμηση της υπερθέρμανσης του πλανήτη αποτελεί ύψιστη προτεραιότητα στην εποχή μας, η οποία αποτελεί μια πρωτοφανή για την ανθρώπινη ιστορία συστημική αλλαγή. Μέχρι το 2050, ο στόχος του καθαρού μηδενισμού των εκπομπών αερίων πρέπει να επιτευχθεί προκειμένου να περιοριστεί η υπερθέρμανση του πλανήτη στον 1,5 °C. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας εκτιμά ότι τα κτίρια και οι κατασκευαστικές δραστηριότητες ευθύνονται για το 30% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου παγκοσμίως<sup>1</sup>. Οι λειτουργίες ευθύνονται για το 20% και η κατασκευή για το 10%, οι λεγόμενες γκρι εκπομπές. Η αυξημένη χρήση του ξύλου στην αρχιτεκτονική έχει τη δυνατότητα να μειώσει σημαντικά τις γκρίζες εκπομπές σε σύγκριση με τα συμβατικά κτίρια.

Η πρόκληση που εμφανίζεται είναι η χρήση εναλλακτικών δομικών υλικών που μετριάζουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και μας επιτρέπουν ως είδος να ευημερούμε και να αναπτυσσόμαστε μακροπρόθεσμα. Το ξύλο και άλλα υλικά βιολογικής προέλευσης, όπως το μπαμπού ή το άχυρο, παρέχουν ευκαιρίες για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων με πολλαπλούς τρόπους. Όλα αυτά τα υλικά έχουν βιολογική προέλευση, ανανεώνονται με φυσικό τρόπο, δεσμεύουν άνθρακα από την ατμόσφαιρα και τον αποθηκεύουν στους ιστούς τους. Η μετατροπή του ξύλου σε ανθεκτικά προϊόντα παρατείνει την περίοδο κατά την οποία ο βιογενής άνθρακας αποθηκεύεται και διατηρείται εκτός ατμόσφαιρας. Θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι τα δέντρα είναι οι πιο αποτελεσματικές συσκευές δέσμευσης άνθρακα, που λειτουργούν πλήρως με ηλιακή ενέργεια. Με την ίδια λογική, τα κτίρια και οι κατασκευές από ξύλο μπορούν να θεωρηθούν ως πολυλειτουργικές και εξαιρετικά αποτελεσματικές δεξαμενές άνθρακα. Ένα κτίριο μαζικής ξυλείας, κατά τη διάρκεια της ζωής του, η ξυλεία που χρησιμοποιείται στην κατασκευή αποθηκεύει περίπου έναν τόνο CO<sub>2</sub> ανά κυβικό μέτρο, λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς της σε άνθρακα που αγγίζει το 50%.

---

<sup>1</sup> International Energy Agency, *Buildings*, <https://www.iea.org/>

### 2.3.3. Δάση

Τα δάση βρίσκονται σε μια συνεχή κατάσταση φυσικής αλλαγής. Πριν από περίπου 8.000 χρόνια, στα μέσα της Ολοκαινούς εποχής, τα δάση είχαν τη μεγαλύτερη έκταση από την τελευταία εποχή των παγετώνων, καλύπτοντας περίπου 7 έως 9 δισεκατομμύρια εκτάρια γης παγκοσμίως. Όμως πριν από περίπου 5.000 χρόνια, η έκτασή τους άρχισε να μειώνεται σταθερά, καθώς οι άνθρωποι εξελίχθηκαν από κυνηγοί και συλλέκτες σε γεωργούς και κτηνοτρόφους, αποψιλώνοντας εκτεταμένα τοπία επί χιλιάδες χρόνια. Από τις αρχές του 1700 ξεκίνησε η έντονη παγκόσμια μετανάστευση, με επιταχυνόμενη απώλεια δασικών εκτάσεων σε παγκόσμια κλίμακα, τόσο σε εύκρατους όσο και σε τροπικούς βιότοπους. Σήμερα, υπάρχουν πραγματικές ανησυχίες για την τύχη των δασών σε παγκόσμιο επίπεδο. Υπάρχει μεγάλος κίνδυνος να μην είναι σε θέση να συνεχίσουν να παρέχουν τα αγαθά και τις υπηρεσίες που παρείχαν στην ανθρωπότητα επί χιλιετίες.

Αν και τα δάση είναι πολύ ευάλωτα στις επιπτώσεις της ραγδαίας κλιματικής αλλαγής, θεωρούνται επίσης ένα από τα πιο αποτελεσματικά και αποδοτικά εργαλεία για την απορρόφηση διοξειδίου του άνθρακα από την ατμόσφαιρα, δημιουργώντας έτσι αρνητικές εκπομπές. Τα υφιστάμενα δάση αποτελούν ένα τεράστιο απόθεμα CO<sub>2</sub>, περίπου 3.150 γιγατόνους. Η αποψίλωση, δηλαδή η αντικατάσταση των δασών από άλλες χρήσεις γης, και η υποβάθμιση, δηλαδή η απώλεια αποθεμάτων άνθρακα λόγω υπερβολικής εξόρυξης πόρων, οδηγούν σε εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τα δάση στην ατμόσφαιρα. Λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία του 2020, σήμερα εκπέμπονται ετησίως περίπου 5,5 γιγατόνοι CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα λόγω της απώλειας των δασών. Αυτό αποτελεί σχεδόν το 14% των παγκοσμίων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Υπάρχει επίσης και μια θετική παρενέργεια, καθώς τα δέντρα «γονιμοποιούνται» από την υψηλή συγκέντρωση CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα και από την αυξημένη πρόσληψη αζώτου, η οποία οδηγεί στην ταχύτερη ανάπτυξη και αυξημένη παραγωγή ξυλώδους βιομάζας.

Καθώς η κλιματική κρίση γίνεται μείζον ζήτημα, η αρχιτεκτονική βρίσκεται σε μια εξαιρετικά λεπτή θέση. «Κρυμμένη» όμως πίσω από την έννοια και τη χρήση του δάσους, η Αρχιτεκτονική παραιτείται, εν μέρει, από τη δική της κληρονομιά που περιλαμβάνει την ικανότητα να επανεξετάζει την εξόρυξη πόρων και να επεξεργάζεται εκ νέου τις σχέσεις μεταξύ ανθρώπου και περιβάλλοντος. Αυτό μπορεί να είναι το απόλυτο ηθικό καθήκον των αρχιτεκτόνων στο σημερινό κόσμο.

Τα προϊόντα βιομηχανικής ξυλείας συνεχίζουν να αναπτύσσονται και μπορούν πλέον να παρέχουν δομικά υλικά για χρήσεις πολύ πέρα από αυτές που ιστορικά θεωρούνταν εφικτές για το ξύλο και νέες τεχνολογίες συνεχίζουν να αναπτύσσονται για να επεκτείνουν ακόμη περισσότερο τη χρήση του. Για αυτό το λόγο, υπολογίζεται πως είναι πιθανό το ξύλο να αποκτήσει μεγαλύτερη σημασία μέχρι το 2050. Όμως, ενώ τα επόμενα τριάντα χρόνια περίπου, η ξυλεία, όπως για παράδειγμα για κατασκευαστική χρήση, θα είναι διαθέσιμη ακόμη και σε περίσσεια, μπορεί επίσης να προβλεφθεί ότι μέχρι το 2050, περίπου, η βιομηχανική ξυλεία μεγάλων διαστάσεων και κάποιοι συγκεκριμένοι τύποι ξύλου για ειδικούς σκοπούς θα σπανίζουν. Η δασική κάλυψη του πλανήτη δε θα εξαφανιστεί τα επόμενα πενήντα έως εκατό χρόνια, επομένως έχουμε το χρόνο και τις ευκαιρίες να διατηρήσουμε τα δάση και να τα καταστήσουμε μέρος ενός βιώσιμου μέλλοντος. Πρέπει, ωστόσο, να σκεφτόμαστε με όρους αιώνων και όχι ετών.

Αυτός ο γενικός στόχος, που αφορά τη διατήρηση και τη σωστή και ελεγχόμενη χρήση των δασικών εκτάσεων, θα περιλαμβάνει τουλάχιστον τρεις στρατηγικές προκλήσεις. Πρώτον, τη διατήρηση, μέσω ενεργής διαχείρισης, των εναπομείναντων φυσικών δασών. Δεύτερον, τη δημιουργία νέων, παραγωγικών,

φυτεμένων και υποβοηθούμενων δασών φυσικής αναγέννησης, συμπεριλαμβανομένης και της αποκατάστασης των υποβαθμισμένων δασικών εκτάσεων. Τρίτον, τη βελτίωση της αποδοτικότητας, της αποτελεσματικότητας και της ισότητας της διαχείρισης και της χρήσης τόσο των φυσικών όσο και των φυτεμένων δασών με βιώσιμη βάση. Τα φυτεμένα δάση και τα δάση που έχουν αποκατασταθεί θα είναι ο άμεσα διαθέσιμος ανανεώσιμος φυσικός πόρος που θα παρέχει τις τεράστιες ποσότητες ξυλείας. Θα αποτελέσουν τη βάση της παγκόσμιας παραγωγής ξύλου στο μέλλον. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι να προγραμματιστούν και να τεθούν σε εφαρμογή πολύ νωρίτερα, προκειμένου να καλυφθεί το προβλέψιμο κενό, που θα υπάρξει στο μέλλον, στην προσφορά ξύλου σε περιόδους απρόβλεπτης κλιματικής αλλαγής.

Η οικοδόμηση με ξύλο μπορεί να είναι μια βιώσιμη λύση, αλλά η πρώτη ύλη χρειάζεται πολύ χρόνο για να αναγεννηθεί, δηλαδή το δέντρο που κόβεται χρειάζεται αρκετό χρόνο για να αναπτυχθεί ξανά, για αυτόν ακριβώς τον λόγο πρέπει η ανθρωπότητα να κινηθεί προληπτικά και αν προλάβει οποιοδήποτε ζήτημα είναι πιθανόν να προκληθεί.



## **Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: Κατασκευαστική δομή από ξύλο**

### **3.1. Συστήματα Δόμησης**

Η ποικιλία των βιομηχανικών προϊόντων ξυλείας προσφέρει ευελιξία στον σχεδιασμό και καθώς συνδυάζονται ως δομές προσφέρουν προσαρμόσιμες λύσεις σε κατασκευαστικά ζητήματα. Τα προϊόντα αυτά, όντας μεγάλα πάνελ από μασίφ ξύλο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για φέροντες τοίχους, δάπεδα, στέγες κ.λπ στην κατασκευή. Επίσης, έχουν την δυνατότητα να σχεδιαστούν έτσι ώστε να καμπυλώνουν για ειδικές κατασκευές ή με την κατάλληλη ενίσχυση να ορίζουν προβόλους. Τα πάνελ μαζικής ξυλείας περιλαμβάνουν την σταυρωτή πλαστικοποιημένη ξυλεία (Cross-Laminated Timber), την πλαστικοποιημένη με πείρους ξυλεία (Dowel-Laminated Timber), την πλαστικοποιημένη με καρφιά ξυλεία (Nail-Laminated Timber), την πλαστικοποιημένη με κόλλα ξυλεία (Glued-Laminated Timber) και πολλά άλλα.

#### **3.1.1. Cross-Laminated timber (CLT)**



Εικόνα 46. «Διάγραμμα σύνθεσης CLT πανέλων»

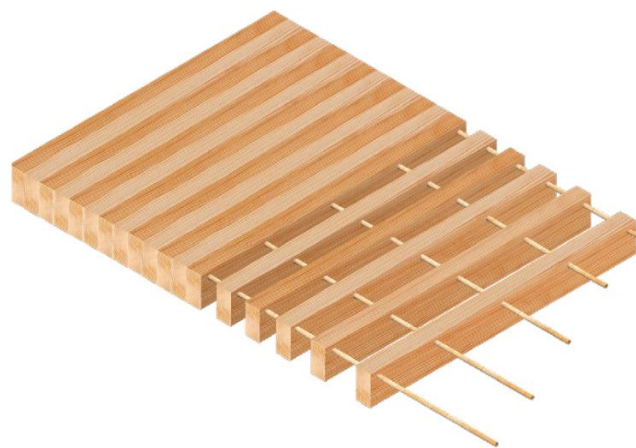
Η σταυρωτή πλαστικοποιημένη ξυλεία (CLT) αποτελεί ένα σύστημα ξύλινων πανέλων με τις ξύλινες σανίδες να δημιουργούν επίπεδα, συνήθως τρία, πέντε ή επτά. Οι σανίδες στοιβάζονται και κολλούνται, μεταξύ τους, σταυρωτά σε γωνίες 90 μοιρών, ανά στρώση, παρέχοντας έτσι εξαιρετική δομική ακαμψία και προς τις δύο κατευθύνσεις. Μέσω αρθρώσεων δαχτύλων και δομικής κόλλας οι σανίδες συνδέονται μεταξύ τους δημιουργώντας την κάθε στρώση. Το πάχος της κάθε σανίδας κυμαίνεται από 1,60 εκατοστά έως 5 εκατοστά, με το πλάτος της να είναι συνήθως μεταξύ 6,35 εκατοστά και 14 εκατοστά. Τα πάνελ έχουν την δυνατότητα να κατασκευαστούν σε διάφορες διαστάσεις, ανάλογα με τις ανάγκες του έργου, αλλά υπάρχουν μερικοί περιορισμοί που έχουν να κάνουν με τις διαστάσεις των αντικειμένων κατά τη μεταφορά.

Οι συνήθεις εφαρμογές των CLT πανέλων περιλαμβάνουν δάπεδα, τοίχους και στέγες. Το ίδιο προϊόν όμως χρησιμοποιείται και σε δάπεδα προβόλων και μπαλκόνια, φρεάτια ανελκυστήρων που παραλαμβάνουν φορτία και σκάλες. Η ικανότητα της σταυρωτής πλαστικοποιημένης ξυλείας να αντιστέκεται σε υψηλές φορτίσεις και δυνάμεις συμπίεσης την καθιστά αποδοτική για πολυώροφες κατασκευές και κατασκευές με μεγάλα ανοίγματα. Σε δομικά συστήματα όπως τοίχοι, δάπεδα και στέγες τα CLT πάνελ χρησιμοποιούνται ως φέροντα στοιχεία της κατασκευής. Όπως συμβαίνει και με άλλα μαζικά προϊόντα ξυλείας, το CLT μπορεί να παραμείνει εκτεθειμένο στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου, έως 8 ή 9 ορόφους σε κτίρια τύπου IV-C σύμφωνα με τον διεθνή κώδικα κτιρίων (IBC) του 2021.



### 3.1.2. Dowel-Laminated timber (DLT)

Η πλαστικοποιημένη με πείρους ξυλεία (DLT) είναι μία τεχνική που χρησιμοποιείται κυρίως στην Ευρώπη και την Βόρεια Αμερική. Τα DLT πανέλα είναι κατασκευασμένα από σανίδες μαλακής ξυλείας, δηλαδή από ξυλεία κωνοφόρων δέντρων. Οι σανίδες, με διαστάσεις 5x10, 5x15, 5x20 εκατοστά κ.λπ, στοιβάζονται στην άκρη και εφαρμόζουν μεταξύ τους με πείρους, οι οποίοι συνήθως προέρχονται από σκληρή ξυλεία.



Εικόνα 47. «Διάγραμμα σύνδεσης DLT πανέλων»

Όπως και τα NLT πανέλα, τα DLT μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τοίχους, δάπεδα, στέγες, σκάλες και φρεάτια ανελκυστήρα, ή λυγισμένα και μέσω συναρμολόγησης μπορούν να δημιουργήσουν καμπύλες δομές. Το γεγονός ότι ο σχεδιασμός τους αποτελείται εξολοκλήρου από ξύλο χωρίς μεταλλικούς συνδέσμους τα καθιστά εύκολη την διαδικασία της επεξεργασίας και της κοπής τους, χρησιμοποιώντας μηχανήματα CNC. Τα DLT πανέλα μπορούν να υποστηρίξουν μηχανολογικές ανάγκες και να λειτουργήσουν ως ηχοαπορροφητική δομή. Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα να επικαλυφτούν με σκυρόδεμα τα πανέλα πλαστικοποιημένης με πείρους ξυλείας για να σχηματίσουν τα λεγόμενα TCC πανέλα, ένα υβριδικό σύστημα που χρησιμοποιείται για να μειώσει την διατομή, να αυξήσει το άνοιγμα και να μειώσει τη μεταφορά του θορύβου και των κραδασμών.

### 3.1.3. Nail-Laminated timber (NLT)

Μια τεχνική που χρησιμοποιείται εκατοντάδες χρόνια, η ξυλεία NLT, είναι κατασκευασμένη από ξύλινες σανίδες, όπως και τα προηγούμενα παραδείγματα. Στην προκειμένη περίπτωση όμως οι σανίδες αυτές στοιβάζονται στην άκρη και στερεώνονται μεταξύ τους με καρφιά ή βίδες, για να σχηματίσουν ένα συμπαγές δομικό στοιχείο. Οι σανίδες έχουν τυπικές διαστάσεις που ορίζονται ανάλογα με τον κατασκευαστή ή με κάποιο πρότυπο. Η αντοχή των NLT πανέλων προέρχεται κυρίως από τα καρφιά και τις βίδες που χρησιμοποιούνται για να στερεωθούν τα μεμονωμένα κομμάτια ξύλου.



Εικόνα 48. «Διάγραμμα σύνδεσης NLT πανέλων»

Τέτοιου τύπου ξυλεία εμφανίζεται στα ίδια δομικά στοιχεία με τα προηγούμενα παραδείγματα και σε εξέδρες (decks). Προσθέτοντας κόντρα πλακέ ή προσανατολισμένης σανίδας κλώνου (OSB) στη μία μεριά του πάνελ, παρέχεται φέρουσα ικανότητα επιτρέποντας το NLT να χρησιμοποιηθεί ως διατμητικό τοίχωμα ή δομικό διάφραγμα. Ιστορικά, στα βιομηχανικά κτίρια γινόταν χρήση της κατασκευής NLT, με αυτή να γεφυρώνει το άνοιγμα μεταξύ στύλων και δοκών, από συμπαγές ξύλο, και να δημιουργεί στιβαρά συμπαγή πατώματα. Το προϊόν μαζικής ξυλείας δεν απαιτεί ειδική κατασκευή και η χρήση βιδών και καρφιών μπορεί να γίνει με εύκολα διαθέσιμες επιφάνειες ξυλείας, όσων αφορά τις διαστάσεις τους.

#### 3.1.4. Glued-Laminated timber (Glulam)

Η πλαστικοποιημένη με κόλλα ξυλεία (Glulam) αποτελείται από μεμονωμένα ελάσματα ξύλου, επιλεγμένα και τοποθετημένα σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά απόδοσης τους και στη συνέχεια συνδέονται μεταξύ τους με δυνατές και ανθεκτικές στην υγρασία κόλλες. Τα νερά των ελασμάτων είναι παράλληλα με το μήκος των μελών και μπορούν να τροποποιηθούν για την δημιουργία ίσιων, καμπύλων, τοξωτών και καμπύλων στοιχείων.



Εικόνα 49. «Διάγραμμα σύνδεσης Glulam πανέλων»

Ως ένα από τα παλαιότερα και ευρέως χρήσης προϊόντα μαζικής ξυλεία, η εφαρμογή του είναι ευρεία και περιλαμβάνει σχεδόν όλους τους τύπους κτιρίων. Εκτός από κτίρια χρησιμοποιείται και ως πρωτεύον υλικό για μεγάλες αυτοφερόμενες κατασκευές, όπως γέφυρες, στέγαστρα και περίπτερα (pavilions). Ενώ συνήθως χρησιμοποιείται σε κολόνες και δοκάρια, με ίσια ή καμπύλη μορφή, έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί και σε δάπεδα ή οροφές, όπως η πλαστικοποιημένη με καρφιά ξυλεία (NLT).

## 3.2. Γενική κατασκευαστική δομή

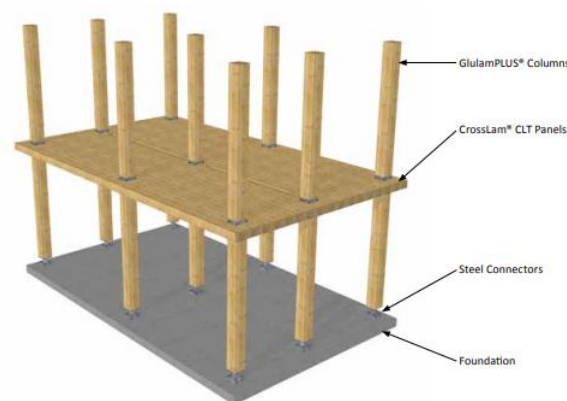
Συνήθως τα πολυώροφα κτίρια βιομηχανικής ξυλείας απαιτούν όλες οι φορτίσεις να είναι κάθετες και ομοιόμορφα κατανομημένες σε όλους τους ορόφους της κατασκευής. Όποιοι τοίχοι και κολόνες είναι ευθυγραμμισμένοι σε κατακόρυφο επίπεδο έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν για την στήριξη του κτιρίου. Σε όλες τις δομές αυτού του τύπου η μη ευθυγράμμιση των φορτίων στον κάθετο άξονα απαιτεί την χρήση πλακών και δοκών μεταφοράς φορτίων. Τέτοιες λύσεις όμως δεν είναι οικονομικά αποδοτικοί και προσθέτουν σημαντικές δυσκολίες στις κατασκευαστικές ανάγκες του εκάστοτε έργου. Στην συγκεκριμένη ενότητα θα αναλυθούν οι τρεις πιο συνηθισμένοι τύποι φέροντα οργανισμού που συναντώνται σήμερα στα έργα βιομηχανική ξυλείας.

### 3.2.1. Σύστημα Post and Platform

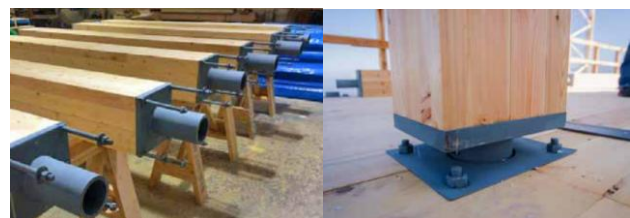
Το σύστημα Post and Platform είναι ένας κοινός τύπος δομικού συστήματος που αποτελείται από πάνελ δαπέδου CLT (Cross Laminated Timber), τα οποία στηρίζονται απευθείας στις κολόνες, ξυλείας τύπου Glulam (Glued-Laminated timber). Το σύστημα αυτό, δεν χρησιμοποιεί δοκούς ή δευτερεύοντα στηρίγματα για τα πάνελ των πλακών. Για αυτόν τον λόγο, είναι ιδανικό για πολλούς τύπους πολυώροφων κτιρίων, όπως κτίρια γραφείων και κατοικιών. Επίσης, έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά τόσο σε υβριδικά συστήματα όσο και σε κατασκευές με βάση την ξυλεία. Συνοπτικά, τα στοιχεία του δομικού συστήματος αυτού είναι οι κολόνες τύπου Glulam, τα CLT πάνελ δαπέδου και τις μεταλλικές ενώσεις μεταξύ τους.

Ο σχεδιασμός των συνδέσεων είναι συνήθως λιγότερο πολύπλοκος από άλλα χρησιμοποιούμενα συστήματα, καθιστώντας το συγκεκριμένο σύστημα μια πολύ πλεονεκτική λύση. Οι απλές συνδέσεις συμβάλλουν στην επιτάχυνση και απλοποίηση της διαδικασίας κατασκευής και επιτρέπουν ακόμα και σε λιγότερο έμπειρους κατασκευαστές να κατασκευάσουν ένα κτίριο τέτοιου τύπου. Το σύστημα Post and Platform πλεονεκτεί ιδιαίτερα εξαιτίας των αποδεδειγμένων δομικών χαρακτηριστικών του, την απλότητα και τη δυνατότητα κατασκευαστικής συνοχής σε όλο το κτίριο. Επίσης, ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του είναι ότι το CLT δάπεδο έχει τη δυνατότητα να παρέχει αντοχή σε θλίψη και εφελκυσμό, λόγω των σταυρωτών ελασμάτων.

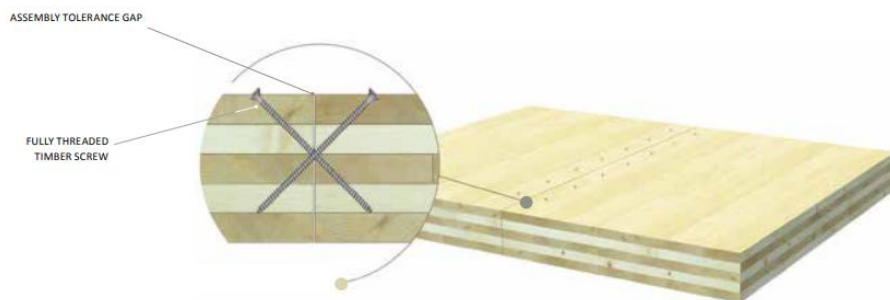
Κατά την κατασκευή κτιρίων βιομηχανικής ξυλείας το CLT δάπεδο μπορεί να τοποθετηθεί με διάφορες συνδέσεις, συμπεριλαμβανομένων των χιαστί και παράλληλων. Στη περίπτωση και των δύο συστημάτων, οι εγκοπές είναι προκατασκευασμένες για την απλοποίηση της επιτόπου εγκατάστασης στο εργοτάξιο. Η χιαστί σύνδεση πλεονεκτεί διότι είναι αρκετά απλή, καθώς δεν απαιτεί οποιαδήποτε προκατασκευή και παράγουν ιδιαίτερα άκαμπτο αποτέλεσμα. Ωστόσο, στην προκειμένη περίπτωση, απαιτούνται πολλές ξυλόβιδες με αποτέλεσμα να απαιτείται περισσότερη εξειδικευμένη απασχόληση για την ολοκλήρωση του έργου. Η παράλληλη σύνδεση αποτελεί ένα από τα πιο συνηθισμένα συστήματα συνδέσεων πάνελ επειδή είναι απλές στην διαμόρφωση και την προκατασκευή τους, όλα αυτά είναι πολύ σημαντικά διότι δεν απαιτείται κάποια σύνθετη εγκατάσταση στο εργοτάξιο.



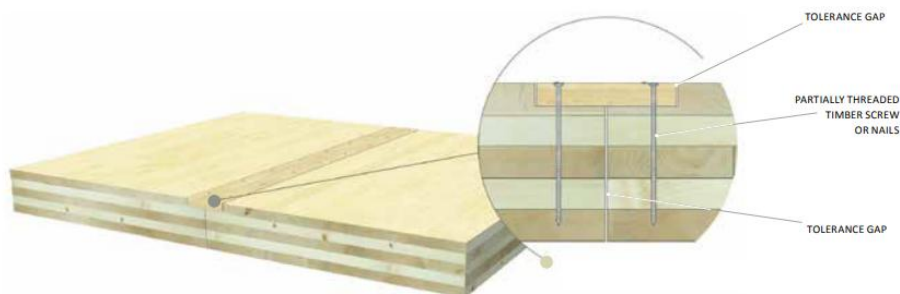
Εικόνα 50. «Τυπική μορφή Post and Platform κατασκευής»



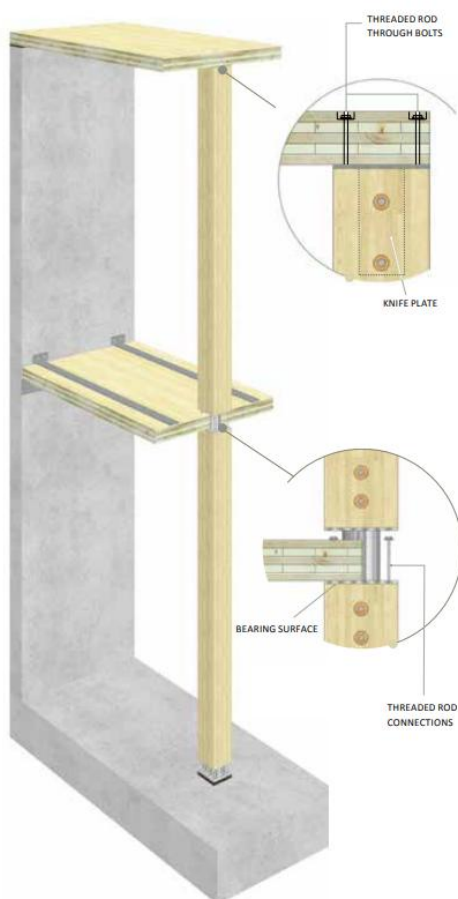
Εικόνα 51. «Βάση και τρόπος σύνδεσης Glulam υποστυλωμάτων»



Εικόνα 52. «Παράδειγμα χιαστί σύνδεσης και επεξηγηματική τομή»



Εικόνα 53. «Παράδειγμα παράλληλης σύνδεσης και επεξηγηματική τομή»



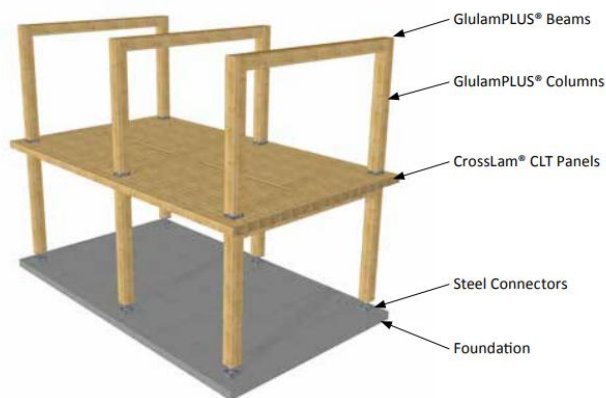
Εικόνα 54. «Τυπική κατασκευή CLT με υποστυλώματα Glulam»

Τα υποστυλώματα, συνήθως, φθάνουν προκατασκευασμένα στον εργοτάξιο, με τους χαλύβδινους συνδέσμους ενσωματωμένους. Στη συνέχεια, μπορούν να ανεγερθούν, επιτρέποντας την άμεση τοποθέτηση των CLT πάνελ, επάνω από τις κολόνες. Έτσι, δημιουργείται γρήγορα και χωρίς καμία αναμονή ή καθυστέρηση μια επιφάνεια εργασίας για τους επόμενους ορόφους. Η παρακάτω εικόνα δείχνει ένα παράδειγμα τυπικής κατασκευής με CLT πλάκες και κολόνες τύπου Glulam. Η σύνδεση κολόνας με κολόνα ενσωματώνει τη σύνδεση με το CLT δάπεδο και πρέπει να ελέγχεται ως προς τη διατμητική τάση στην πλάκα, η οποία τείνει να είναι μια σημαντική τιμή σε αυτού του τύπου τη σύνδεση.



### 3.2.2. Σύστημα Post-Beam-Panel

Το σύστημα Post-Beam-Panel είναι ακόμα ένας κοινός τύπος δομικού συστήματος βιομηχανικής ξυλείας που αποτελείται από CLT πάνελ δαπέδου που στηρίζονται απευθείας επάνω από τις δοκούς και τα υποστυλώματα, τύπου Glulam. Οι δοκοί με τις κολόνες δημιουργούν ένα πλαίσιο το οποίο υποστηρίζει τα πάνελ δαπέδου, που τοποθετούνται μετέπειτα, σχηματίζοντας μια πλατφόρμα για την κατασκευή των επόμενων ορόφων. Όλα μαζί αποτελούν την φέρουσα δομή της κατασκευής. Το συγκεκριμένο σύστημα έχει χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά σε διάφορους τύπους κτιρίων από κτίρια κατοικιών μέχρι και μεγάλες αίθουσες συνάθροισης κοινού. Λόγω των αρχών του μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε υβριδικές κατασκευές, όσο και σε πλήρως ξύλινες κατασκευές. Όλα τα κομμάτια του συστήματος, οι Glulam κολόνες και τα δοκάρια, τα CLT πάνελ και οι μεταλλικές συνδέσεις, έρχονται στο εργοτάξιο προκατασκευασμένα για να υπάρχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια και για να απλοποιείται και να επιταχύνεται η διαδικασία κατασκευής.



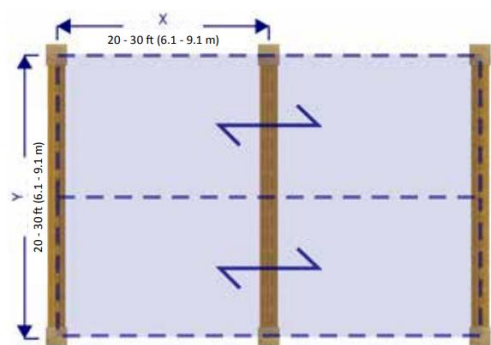
Εικόνα 55. «Τυπική μορφή Post-Beam-Panel κατασκευής»



Εικόνα 57. «Κρυφοί προκατασκευασμένοι σύνδεσμοι»



Εικόνα 56. «Συνδεσμολογία δοκών με υποστυλώματα»



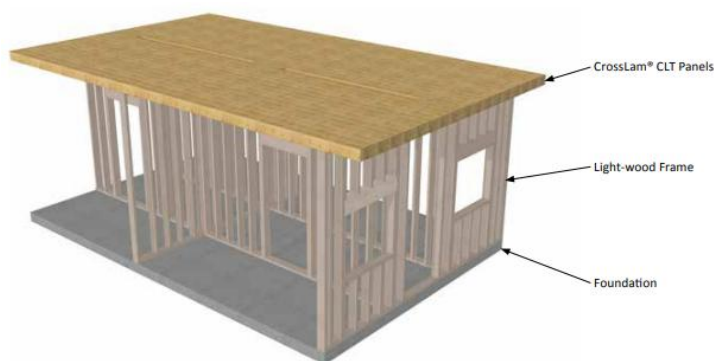
Εικόνα 58. «Τυπικός κάναβος συστήματος Post-Beam-Panel»

Ανάλογα με το κάθε σύστημα σύνδεσης, η προκατασκευή μπορεί να απλοποιήσει την κατασκευή χωρίς να μειωθεί, εξαιτίας της, οποιαδήποτε αντοχή απέναντι στις φορτίσεις τις οποίες δέχεται. Όσον αφορά τις συνδέσεις μεταξύ υποστυλωμάτων και δοκαριών υπάρχουν δύο κατηγορίες, οι προκατασκευασμένες και οι ειδικά προσαρμοσμένες, ανάλογα με την κατασκευή. Οι προκατασκευασμένοι σύνδεσμοι είναι πιο συχνά προτιμώμενοι από άλλα συστήματα λόγω του ελάχιστου χρόνου εγκατάστασης που τους χαρακτηρίζει, καθώς οι συνδέσεις μπορούν να εγκατασταθούν στο εργοστάσιο. Επίσης, είναι απλές στο σχεδιασμό κάνοντας χρήση πινάκων σχεδιασμού ή τυποποιημένων τιμών. Υπάρχουν διάφοροι τύποι συνδέσμων δοκών, με τους πιο διαδεδομένους να είναι οι κρυφοί σύνδεσμοι, οι οποίοι βοηθούν στην επίτευξη υψηλών απαιτήσεων πυραντίστασης, αντίστασης σε σεισμικές δονήσεις και σε ανεμολογικά φαινόμενα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπου οι προκατασκευασμένοι σύνδεσμοι δεν είναι εφικτοί, χρησιμοποιούνται συνήθως ειδικά κατασκευασμένες για την περίπτωση χαλύβδινες συνδέσεις. Αυτοί οι τύποι συνδέσεων μπορεί να απαιτούν πιο εμπεριστατωμένο και λεπτομερή σχεδιασμό και είναι λιγότερο προβλέψιμοι από τις δοκιμασμένες, προσχεδιασμένες συνδέσεις.

Ο τυπικός κάναβος περιορίζεται λόγω της φύσης της συμπίεσης του CLT σε διαστάσεις μέχρι 12,19 μέτρα σε μήκος και 2,4 και 3 μέτρα σε πλάτος. Υπάρχει, όμως, και η περίπτωση ενός ενισχυμένου και πιο εκτεταμένου κανάβου, που μπορεί να δημιουργήσει μεγαλύτερη δομική αποδοτικότητα. Τέτοιο παράδειγμα θα ήταν ένα άνοιγμα δοκού 9,1 μέτρα στην κατεύθυνση y και στην κατεύθυνση x απόσταση 4,5 μέτρα μεταξύ των υποστυλωμάτων.

### 3.2.3. Υβριδικό σύστημα ελαφριάς κατασκευής

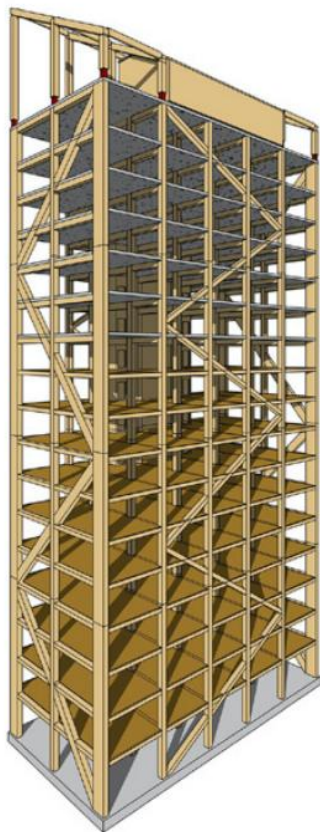
Το σύστημα αυτό αποτελεί ένα υβρίδιο μεταξύ των ελαφριών ξύλινων κατασκευών και της βιομηχανικής ξύλινης κατασκευής. Κατά κύριο λόγο, μόνο οι εγκάρσιοι τοίχοι και η οριζόντια δομή, δηλαδή το δάπεδο και η οροφή, κατασκευάζονται από CLT ξυλεία ενώ η υπόλοιπη κατασκευή αποτελείται από τυπικό σκελετό, σύμφωνα με τις αρχές της ελαφριά ξύλινης κατασκευής. Παρόλο που συνδυάζονται αυτές οι δύο μέθοδοι, η χρήση υποστυλωμάτων τύπου Glulam κρίνεται απαραίτητη.



Εικόνα 59. «Τυπική μορφή υβριδικού συστήματος ελαφριάς κατασκευής»

Με τη χρήση ενός τέτοιου υβριδικού συστήματος η ευκολία και η ταχύτητα της κατασκευής έχει την δυνατότητα να βελτιωθεί δραστικά σε σύγκριση με ένα συμβατικό σύστημα δόμησης ξύλινης ελαφριάς κατασκευής. Αυτό οφείλεται στη φύση της εγκατάστασης του CLT δαπέδου-πλάκας, που μπορεί να εγκατασταθεί εύκολα, συνήθως χρησιμοποιώντας κάποιον γερανό, και μειώνει τον χρόνο που δαπανάται για την εγκατάσταση δοκών και άλλων δομικών στοιχείων. Άρα, όπως και στα προαναφερθέντα συστήματα επιτρέπεται η γρήγορη πρόσβαση στους επόμενους ορόφους για την συνέχιση της κατασκευής, επιταχύνοντας τελικά την διαδικασία κατασκευής. Στην προκειμένη περίπτωση η ταχύτητα δεν συγκρίνεται με κάποιο άλλο υλικό αλλά με κάποια άλλη χρήση του ίδιου υλικού, του ξύλου. Καθώς το δομικό σύστημα των ξύλινων ελαφριών κατασκευών χαρακτηρίζεται από αρκετή χειρονακτική εργασία, όσον αφορά τις επενδύσεις και τις πληρώσεις των πλαισίων που έρχονται προκατασκευασμένα, οι CLT επιφάνειες στο δάπεδο αφαιρούν χρόνο από όλη αυτή την χρονοβόρα διαδικασία της εγκατάστασης και επένδυσης του δαπέδου, σε μια αντίστοιχη τυπική ξύλινη κατασκευή. Επίσης, τα CLT πάνελ, όπως και οι παραλλαγές τους (DLT, NLT κ.λπ), συμβάλλουν στη στιβαρότητα του κτιρίου καταλήγοντας έτσι στη βελτίωση των πλευρικών φορτίσεων και την απόδοση του σχεδιασμού των κατακόρυφων φορτίσεων. Η διαδικασία του σχεδιασμού είναι απλή όταν τα σχέδια που παρέχονται είναι λεπτομερή και με αρκετή σαφήνεια, όσον αφορά τις πλάκες, τα όρια τους και σημεία έδρασης. Τέλος, λόγω της πρόσθετης ανθεκτικότητας και της βελτιωμένης απόδοσης των ξύλινων ελαφριών κατασκευών σε συνδυασμό με στοιχεία βιομηχανικής ξυλείας, η διάρκεια ζωής του έργου αναμένεται να αυξηθεί, μειώνοντας έτσι το κόστος συντήρησης μακροπρόθεσμα.

### 3.2.4. Σύστημα ενισχυμένου πλαισίου



Εικόνα 60. «Τρισδιάστατη απεικόνιση συστήματος ενισχυμένου πλαισίου του Mjostarnet, Νορβηγία»

Η τυπολογία κτιρίων με ενισχυμένο πλαίσιο είναι μια παραλλαγή του συστήματος δοκού επί στύλου, όπου χρησιμοποιείται διαγώνια αντιστήριξη ώστε να δημιουργηθεί ένα χωρικό πλαίσιο που έχει την δυνατότητα να αντισταθεί επαρκώς στις πλευρικές δυνάμεις που δέχεται το κτίσμα. Πιο συγκεκριμένα, η αντιστήριξη βοηθά στην αποφυγή της χρήσης διατμητικών τοίχων και φρεατίων ανελκυστήρων ή σκαλών. Τα ενισχυμένα ξύλινα πλαίσια είναι αποτελεσματικά συστήματα απέναντι σε τέτοιου είδους δυνάμεις σε κτίρια όπου απαιτούνται μεγάλοι ανοικτοί χώροι και όπου τα πιο σύνηθες συστήματα διατμητικών τοίχων από ξύλο δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Επίσης, επιτρέπουν την ευελιξία στον σχεδιασμό και χρησιμοποιούν τα προϊόντα βιομηχανικής ξυλείας στην ισχυρότερη κατεύθυνση, δηλαδή παράλληλα με τις ίνες σε εφελκυσμό και θλίψη.

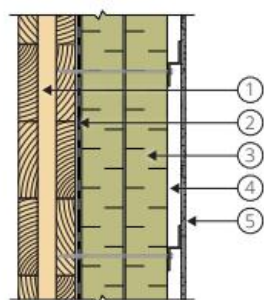
Τέτοιοι τύποι κτιρίων είναι ιδανικοί για πιο ψηλά και πιο λεπτά κτίρια, με το αρκετά θετικό χαρακτηριστικό ότι αφήνουν τις εσωτερικές τους πλάκες ελεύθερες, χωρίς πολλά υποστυλώματα και τοιχία, για πιο ευέλικτες διαρρυθμίσεις χώρου. Ωστόσο, η διαγώνια στήριξη έχει ένα αισθητικό μειονέκτημα, την πιθανότητα να εμποδίζει την θέα μέσα από κάποια ανοίγματα και να εκλαμβάνεται ως ενοχλητική από τους κατοίκους, εξαιρούνται όμως οι περιπτώσεις όπου αυτός ο εμφανής σκελετός αναδεικνύεται από την γενική αρχιτεκτονική ιδέα.

### 3.3. Συστήματα πλήρωσης

Σε ένα δομικό σύστημα βιομηχανικής ξυλείας είναι λογικό να μη χρησιμοποιούνται παραδοσιακοί μέθοδοι πλήρωσης, όπως για παράδειγμα τούβλα, για λόγους συνολικού βάρους της κατασκευής αλλά και για περιβαλλοντικούς λόγους, όπως είναι τα απόβλητα που δημιουργούνται σε ένα εργοταξίου. Όπως σε πολλές περιπτώσεις την σήμερον ημέρα, έτσι και στην προκειμένη περίπτωση γίνεται χρήση γυψοσανίδας στους μη φερόμενους τοίχους των κτιρίων. Πέραν από αυτή τη λύση, παρακάτω αναλύονται άλλοι τρόποι πλήρωσης των κτιρίων βιομηχανικής ξυλείας.

Εικόνα 61. «Τοιχοποιία με εξωτερική μόνωση»

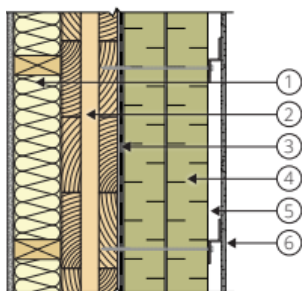
1. Πάνελ βιομηχανικής ξυλείας
2. Πυρήνας αέρα και αντίστασης στο νερό
3. Εξωτερική μόνωση
4. Κενό αέρος
5. Εξωτερική επένδυση



Η επιλογή της εξωτερικής μόνωσης είναι μια απλή προσέγγιση για βιομηχανική ξύλινη τοιχοποιία (βλ. Εικόνα 61). Τοποθετώντας εσωτερικά τη βιομηχανική ξυλεία, της επιτρέπει να παραμείνει εκτεθειμένη στο εσωτερικό του κτιρίου, χαρακτηριστικό που επιτρέπεται από τον πυροσβεστικό κώδικα. Η εξωτερική μόνωση διατηρεί τη ξυλεία ζεστή και στεγνή, σχεδόν σαν να είναι εσωτερικός τοίχος.

Εικόνα 62. «Τοιχοποιία με διπλή μόνωση»

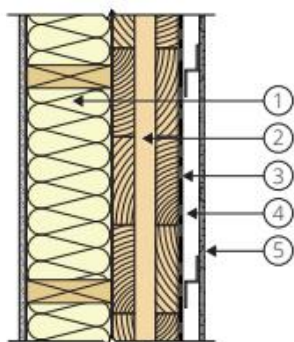
1. Εσωτερική μόνωση
2. Πάνελ βιομηχανικής ξυλείας
3. Πυρήνας αέρα και αντίστασης στο νερό
4. Εξωτερική μόνωση
5. Κενό αέρος
6. Εξωτερική επένδυση



Η χρήση τόσο εξωτερικής όσο και εσωτερικής μόνωσης μπορεί να είναι επιθυμητή σε κάποια σχέδια τοίχων (βλ. Εικόνα 62). Με αυτόν τον τρόπο βελτιώνεται η συνολική θερμομονωτική αποτελεσματικότητα με λιγότερη εξωτερική θερμομόνωση. Επίσης, ωφελεί και την αποδοτικότητα της ηχομόνωσης καθώς η βιομηχανική ξυλεία δεν παραμένει εκτεθειμένη.

Εικόνα 63. «Τοιχοποιία με εσωτερική μόνωση»

1. Εσωτερική μόνωση
2. Πάνελ βιομηχανικής ξυλείας
3. Πυρήνας αέρα και αντίστασης στο νερό
4. Κενό αέρος
5. Εξωτερική επένδυση



Η επιλογή να γίνει χρήση μόνο εσωτερικής μόνωσης (βλ. Εικόνα 63), χωρίς εξωτερική μόνωση, βελτιώνει τη θερμομονωτική αποτελεσματικότητα της τοιχοποιίας. Όπως και η προηγούμενη έτσι και αυτή η επιλογή συμβάλλει και στις ηχομονωτικές ιδιότητες του κτιρίου.

Για τους εξωτερικούς τοίχους και γενικά το εξωτερικό περίβλημα του κτιρίου υπάρχει και η επιλογή των προκατασκευασμένων επιφανειών, οι οποίες φέρουν στο εσωτερικό τους τις απαραίτητες μονώσεις. Αυτά τα προκατασκευασμένα πάνελ πρόσοψης έχουν εφαρμοστεί με μεγάλη επιτυχία σε μεγάλο αριθμό έργων σε όλων τον κόσμο και αποτελούν μια καλή εναλλακτική λύση της πλήρωσης των κτιρίων. Υπάρχουν διαφορετικές μορφές πάνελ, με διάφορους τύπους συνδέσμων που μπορούν να αναπτυχθούν. Το ύψος και η κλίμακα του έργου, καθώς και ο τύπος του διαθέσιμου εξοπλισμού ανύψωσης επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την επιλογή της καταλληλότερης προσέγγισης.



Τα προκατασκευασμένα πάνελ μικρού μεγέθους αποθηκεύονται και εγκαθίστανται εύκολα επί τόπου. Η συγκεκριμένη προσέγγιση είναι κατάλληλη όταν στο εργοτάξιο υπάρχουν διαθέσιμοι μόνο μικροί γερανοί και ανυψωτικός εξοπλισμός. Το μειωμένο μέγεθος και βάρος των μικρών αυτών επιφανειών τις καθιστά εύκολες στον χειρισμό και στην ανύψωση, αλλά ο αριθμός των αρμών και των συνδέσεων μεταξύ των πάνελ απαιτεί πολλή καλή ποιότητα κατασκευής.

Τα προκατασκευασμένα πάνελ μεγάλου μεγέθους μπορούν να τοποθετηθούν και να καλύψουν όλες τις επιφάνειες του κτιρίου σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους. Σε τέτοιες περιπτώσεις ο χρόνος παράδοσης, ανύψωσης και εγκατάστασης των πάνελ πρέπει να είναι υπολογισμένος με ακρίβεια και να τηρηθεί με ελάχιστες αποκλίσεις, αφού η αποθήκευση στο εργοτάξιο είναι σπάνια εφικτή. Οι πυργογερανοί ή κάποιοι παρόμοιοι εξοπλισμός πρέπει να είναι σε θέση να τα παραλάβουν απευθείας από τα φορτηγά και να τα ανυψώσουν στη θέση τους, σε όλες τις πλευρές του κτιρίου.



Εικόνα 64. «Διάγραμμα τοποθέτησης προκατασκευασμένων πάνελ μικρού μεγέθους»



Εικόνα 65. «Διάγραμμα τοποθέτησης προκατασκευασμένων πάνελ μεγάλου μεγέθους»

### 3.4. Αντισεισμικότητα

Οι σεισμοί είναι πολύ πιο συχνό φαινόμενο απ' όσο αντιλαμβανόμαστε, με δεκάδες να συμβαίνουν καθημερινά σε όλο τον κόσμο. Μερικοί, όμως, είναι πολύ ισχυροί και ειδικά όταν εμφανίζονται κοντά σε αστικές περιοχές αποτελούν μια από τις πιο καταστροφικές δυνάμεις στη Γη, προκαλώντας σημαντική ζημιά στο δομημένο περιβάλλον. Με την πρόοδο της έρευνας, των δοκιμών και των πειραμάτων στον τομέα της μηχανικής, χώρες και περιοχές με σεισμικές δραστηριότητες έχουν ήδη τη γνώση ώστε να μειώσουν τους αντικειμενικούς κινδύνους. Ορισμένες λύσεις και υλικά λειτουργούν καλύτερα κάτω από συνθήκες σεισμού, με ένα από αυτά να είναι και το ξύλο.

Τα κτίρια μελετώνται έτσι ώστε να υποστηρίξουν καλά τα κατακόρυφα φορτία που τους ασκούνται, τόσο τα νεκρά φορτία όπως το βάρος των δομικών υλικών, όσο και τα ζωντανά φορτία όπως οι κάτοικοι, τα έπιπλα κ.λπ. Σε περίπτωση σεισμού οι πλευρικές δυνάμεις που μεταδίδονται κάνουν ολόκληρη την κατασκευή να δονείται, κάτι που μπορεί να προκαλέσει από επιφανειακές ζημιές μέχρι και την ολική κατάρρευση του κτιρίου.

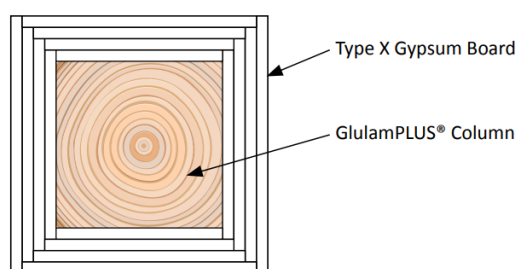
Το ξύλο σαν δομικό υλικό λειτουργεί αρκετά καλά σε περίπτωση σεισμού, καθώς τα ξύλινα συστήματα που αντιστέκονται στην πλευρική δύναμη τείνουν να έχουν υψηλούς βαθμούς ολκιμότητας. Αυτό σημαίνει πως είναι ένα υλικό το οποίο μπορεί να δεχθεί μεγάλη παραμόρφωση μέχρι τη στιγμή της θραύσης του. Κάτι τέτοιο είναι εφικτό διότι το ξύλο αποτελείται από μακριές, λεπτές, ισχυρές κυψέλες και το επίμηκες σχήμα των τοιχωμάτων των κυψελών προσδίδει σε αυτό την υψηλή αντοχή παράλληλα με τα νερά του. Γενικά, τα προϊόντα ξύλου μπορούν να αντέξουν πολύ υψηλά φορτία, ιδιαίτερα όταν ασκούνται δυνάμεις συμπίεσης και τάσης παράλληλα με τις ίνες του ξύλου. Ο Cristiano Loss, Επίκουρος Καθηγητής Μηχανικής Ξύλου στο Πανεπιστήμιο της Βρετανικής Κολομβίας, που ειδικεύεται στην ανθεκτικότητα συστημάτων και κατασκευών με βάση το ξύλο υψηλής απόδοσης απέναντι στους σεισμούς, αναφέρει ότι «Ένα από τα πράγματα που κάνει το ξύλο το πιο δυνατό υλικό με μεγάλη διαφορά είναι το μικρότερο βάρος του. Μπορεί να πιστεύετε ότι αυτό είναι ένα μειονέκτημα, αλλά στην πραγματικότητα είναι μεγάλο πλεονέκτημα.» εξηγεί. «Το ξύλο είναι πέντε φορές πιο ελαφρύ από το σκυρόδεμα, μειώνοντας έτσι σημαντικά τις σεισμικές δυνάμεις σε ένα κτίριο»<sup>2</sup>. Με λίγα λόγια ένα κτίριο που συμπεριφέρεται πολύ καλά σε σεισμούς είναι αυτό που συνδυάζει σε μεγάλο βαθμό την ακαμψία και την ελαφρότητα. Αρκετές έρευνες, με πραγματικές δοκιμές, έδειξαν πως τα κτίρια κατασκευασμένα από βιομηχανική ξυλεία, με μεταλλικούς συνδετήρες, παρουσιάζουν μια πολύ επαρκή απόδοση σε φαινόμενα σεισμού. Ο Cristiano Loss επισημαίνει ακόμα ένα πλεονέκτημα των ξύλινων συστημάτων, την τάση τους να είναι ένα εκτεθειμένο σύστημα συνδέσεων, γεγονός που καθιστά οποιαδήποτε ζημιά να είναι πιο εύκολη στην παρατήρησή της, σε σχέση με ένα σύστημα ή υλικό το οποίο οπλίζεται με ράβδους.

<sup>2</sup> E. Souza, (2021, 6 Οκτωβρίου), *Is Mass Timber a Good Choice for Seismic Zones?*, Arch Daily, <https://www.archdaily.com/>

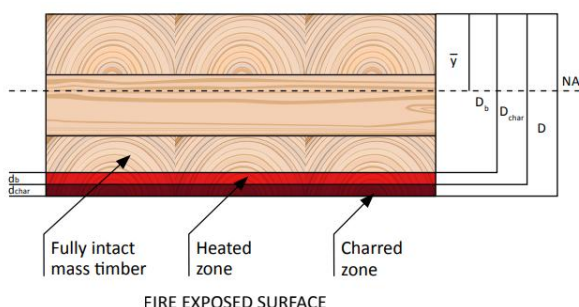
### 3.5. Πυρασφάλεια

Η αντοχή στην φωτιά μπορεί να περιγραφεί ως η ικανότητα του υλικού να συνεχίσει να παρέχει δομική αντοχή και αντίσταση στη θερμότητα ή στον καπνό κατά την εκδήλωση μια πυρκαγιάς. Τα κτίρια αξιολογούνται με βάσει την βαθμολογία αντίστασης στην φωτιά (FRR = Fire Resistance Rating), η οποία αναφέρεται στο χρονικό διάστημα που μπορεί ένα δομικό στοιχείο να αντέξει υπό συνθήκες φωτιάς ή ζέστης μέχρι την αστοχία ακεραιότητας. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως οι απαιτήσεις σχετικά με την πυρασφάλεια ποικίλλουν ανάλογα με τους ισχύοντες νόμους, τον τύπο και την τοποθεσία του κτιρίου, για αυτό και πρέπει οι ανάλογες απαιτήσεις να επιβεβαιώνονται κατά τον σχεδιασμό του δομικού συστήματος. Τα κτίρια μαζικής ξυλείας μπορούν να σχεδιαστούν με διάφορες αρχές απόδοσης ώστε να πληρούν τα απαραίτητα κριτήρια. Δύο βασικές μέθοδοι είναι η Μέθοδος της Ενθυλάκωσης και η Μέθοδος της Απανθράκωσης.

Η Μέθοδος Ενθυλάκωσης, ενσωματώνει όλη τη δομική μάζα των ξύλινων στοιχείων χρησιμοποιώντας γυψοσανίδα τύπου X περιμετρικά της κολόνας. Κάθε επιπλέον γυψοσανίδα 16 χιλιοστών, που τοποθετείται, προσθέτει περίπου 30 λεπτά επιπλέον πυραντίσταση στα ξύλινα στοιχεία. Το συγκεκριμένο σύστημα έχει σχεδιαστεί για μεγαλύτερη απόδοση καθώς δεν επιτρέπει στην μάζα του ξύλου να απανθρακωθεί με τη φωτιά.



Εικόνα 66. «Μέθοδος Ενθυλάκωσης με αντοχή 2 ωρών υπό πυρκαγιά»



Εικόνα 67. «Τομή CLT ξυλείας κατά τη διάρκεια πυρκαγιάς»

Η Μέθοδος Απανθράκωσης επιτρέπει την άμεση έκθεση της μάζας της ξυλείας στην φωτιά. Αφού λοιπόν η ξυλεία είναι τελείως εκτεθειμένη, προστίθεται στρώσεις κατά τη φάση του σχεδιασμού της για την επίτευξη της απαραίτητης βαθμολογίας πυραντίστασης (FRR). Το σύστημα αυτό σχεδιάζεται προσδιορίζοντας, κατά προσέγγιση, το βάθος στο οποίο θα εισχωρήσει η φωτιά και την υπόλοιπη δομική αντοχή του κάθε μέλους μετά από έναν ορισμένο χρόνο έκθεσης στη φωτιά. Στα CLT και Glulam πάνελ υπάρχει προβλέψιμος ρυθμός απανθράκωσης 3,81 εκατοστά την ώρα (0,65 χιλιοστά το λεπτό). Το στρώμα άνθρακα που σχηματίζεται κατά την καύση, λειτουργεί ως μονωτικό στρώμα για τα εσωτερικά στρώματα προστατεύοντας έτσι τα δομικά μέλη από περαιτέρω απώλεια αντοχής. Το FRR του CLT και του Glulam εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το βάθος του μέλους, το άνοιγμα, την εφαρμοσμένη φόρτιση και την έκθεση. Στην Μέθοδο της Απανθράκωσης υπάρχουν ευάλωτα σημεία στους χαλύβδινους συνδέσμους λόγω της ταχείας μείωσης της αντοχής του χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες. Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα απαιτείται να καλύπτονται όλοι οι σύνδεσμοι με ένα στρώμα ξυλείας ή διογκωμένης βαφής για την προστασία του χάλυβα.

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>: Ξύλινα κτίρια μεγάλης κλίμακας - μελέτη περιπτώσεων

### 4.1. Υλοποιημένα

#### 4.1.1. Ascent MKE, Milwaukee



Εικόνα 68. «Εξωτερική οπτική του Ascent»

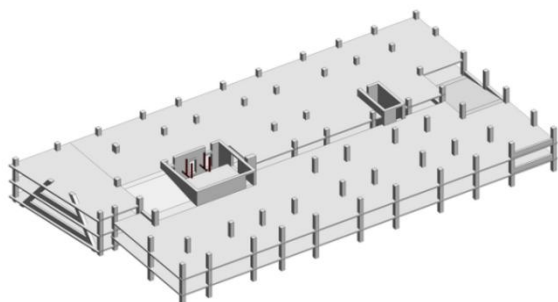
Το Ascent, ένα κτίριο κατοικιών 25 ορόφων στο Milwaukee, αποτελεί το ψηλότερο κτίριο βιομηχανικής ξυλείας, με ύψος 87 μέτρα. Ο συγκεκριμένος ουρανοξύστης χτίστηκε σε λιγότερο από δύο χρόνια, ξεκινώντας τις εργασίες τον Αύγουστο του 2020 και τελειώνοντας τον Ιούλιο του 2022. Με τις πρωτοποριακές δοκιμές και τις αρκετές προκλήσεις που ξεπέρασε το γραφείο “Korb + Associates Architects”, το έργο αυτό, δίνει την δυνατότητα σε μελλοντικά έργα βιομηχανικής ξυλείας να ακολουθήσουν το παράδειγμά του.

Αποτελεί μια ιδιαίτερη περίπτωση όντας μια σύμμεικτη κατασκευή όπου οι πρώτοι 7 όροφοι και τα φρεάτια της κάθετης κίνησης είναι κατασκευασμένα από σκυρόδεμα, αποτελώντας μία βάση επάνω στην οποία στηρίζεται το υπόλοιπο ξύλινο δομικό τμήμα του κτιρίου. Οι υπόλοιποι 18 όροφοι περιλαμβάνουν διαμερίσματα και καταλήγουν σε έναν τελευταίο όροφο με γυάλινα παράθυρα από το δάπεδο μέχρι την οροφή. Σύμφωνα με τους Korb + Associates Architects έχει δοθεί έμφαση στον βιοφιλικό σχεδιασμό και όπου είναι εφικτό η φυσική μορφή των υλικών είναι εκτεθειμένη. Η χρήση του ξύλου, στην προκειμένη περίπτωση, προσδίδει κ άλλα θετικά χαρακτηριστικά στο κτίριο πέραν της ιδιαίτερης αισθητικής. Η επιλογή αυτή εξοικονόμησε τρεις έως τέσσερις μήνες από τον χρόνο κατασκευής και η ξυλεία του Ascent δεσμεύει αρκετό CO<sub>2</sub> που ισοδυναμεί με την απομάκρυνση 2.400 αυτοκινήτων από τους δρόμους για έναν χρόνο.

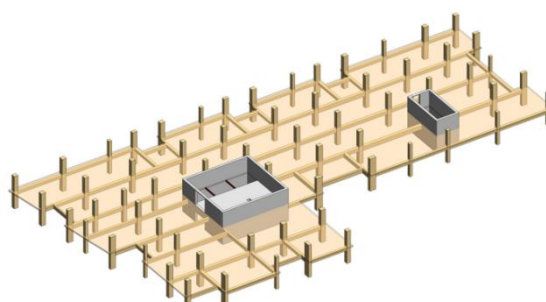


Εικόνα 69. «Απεικόνιση δομικού συστήματος Ascent»

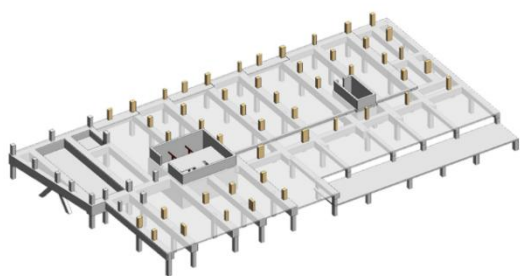
Η δομή του Ascent αποτελείται από ένα βάθρο 7 επιπέδων, με χώρους στάθμευσης, και από 18 επίπεδα κατοικιών, συμπεριλαμβανομένου και του δώματος. Σε μια πόλη γνωστή για τους πολύ μεγάλους και σκληρούς χειμώνες, με έντονες χιονοπτώσεις, το βάθρο σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας υποστυλώματα οπλισμένου σκυροδέματος και πλάκες σκυροδέματος 19 εκατοστών (βλ.Εικόνα 71). Το σύστημα αυτό επιλέχθηκε για να εξυπηρετήσει τα απαιτούμενα ελεύθερα ανοίγματα του επιπέδου στάθμευσης, παρέχοντας παράλληλα πρόσθετη ανθεκτικότητα στο χιόνι, τα άλατα και τα νερά. Η υπερκατασκευή από βιομηχανική ξυλεία, η οποία αποτελείται από δοκούς και υποστυλώματα Glulam και πλάκες μονής κατεύθυνσης από CLT ξυλεία, υψώνεται επάνω από το βάθρο σκυροδέματος. Στην βιομηχανική ξυλοκατασκευή ενώ θα μπορούσε ο φέροντας οργανισμός να είναι σχεδιασμένος πάνω σε έναν κάναβο με μεγαλύτερες αποστάσεις, για λόγους οικονομίας έγινε το αντίθετο, δηλαδή χρησιμοποιήθηκε μια τυπική διάσταση υποστυλώματος σε πλέγμα πλάτους περίπου 5,20 μέτρων (βλ.Εικόνα 70).



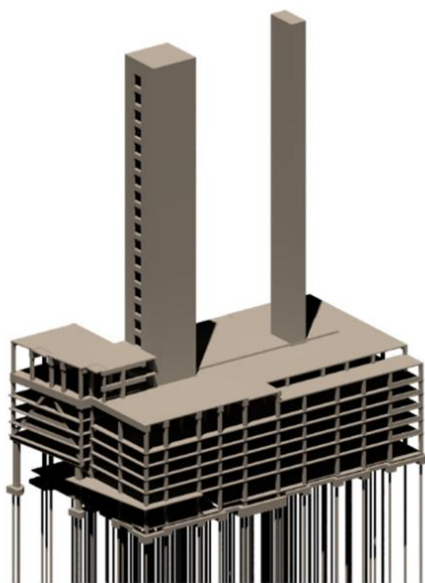
Εικόνα 71. «Τυπικός όροφος από σκυρόδεμα»



Εικόνα 70. «Τυπικός όροφος από βιομηχανική ξυλεία»



Εικόνα 72. «Ενδιάμεσος όροφος, επίπεδο 7»



Εικόνα 73. «Απεικόνιση ολόκληρης της δομής από σκυρόδεμα»

Ενώ το πλέγμα των στύλων στους επάνω ορόφους δημιουργούσε μια αρκετά καλή κάτοψη κατοικιών, η σχετικά στενή απόσταση μεταξύ των υποστρωμάτων δεν επέτρεπε την αποτελεσματική διάταξη των χώρων στάθμευσης ή την κίνηση των οχημάτων. Ως εκ τούτου, στο μεταβατικό στάδιο μεταξύ των τυπικών ορόφων στάθμευσης και κατοικιών, αναπτύχθηκε ένα επίπεδο για την ενσωμάτωση των δύο διαφορετικών διατάξεων (βλ. Εικόνα 72). Λόγω του μικρού βάρους της ξύλινης κατασκευής πάνω από την κατασκευή σκυροδέματος και μιας σταδιακής/διαδοχικής καταπόνησης των δοκών σκυροδέματος, η ομάδα μπόρεσε να ελαχιστοποιήσει το βάθος και τον αριθμό των στοιχείων μεταφοράς. Ενώ στηρίζεται επαρκώς το κτίριο, παράλληλα επιτεύχθηκε η παροχή άνετων λωρίδων κίνησης και μια αποτελεσματική διάταξη στάθμευσης.

Οι Korb + Associates Architects, γνωρίζοντας ότι η κατασκευή του Ascent θα έφτανε στα όρια αντοχής της ξύλινης κατασκευής σε πολλές πτυχές και όσον αφορά τον κώδικα που ίσχυε τότε, συνεργάστηκε πολύ στενά με τους αντίστοιχους υπευθύνους της πόλης καθ' όλη τη διάρκεια του σχεδιασμού. Στο πλαίσιο αυτής της διαδικασίας ζητήθηκε να χρησιμοποιηθούν στους πυρήνες της κατασκευής τοίχοι από οπλισμένο σκυρόδεμα για παρέχουν ένα ασφαλές μέσο διαφυγής για τους ενοίκους και μια ασφαλή πρόσβαση στους πυροσβέστες. Οι δύο πυρήνες , όπως προαναφέρθηκε,

αντιστοιχούν σε έναν κύριο πυρήνα ανελκυστήρα και σκάλας στο νότιο τμήμα και σε έναν μικρότερο πυρήνα σκάλας το βόρειο τμήμα του κτιρίου (βλ. Εικόνα 73).

Τέλος, ενώ η βιομηχανική ξυλεία είναι ένα καθιερωμένο προϊόν στο μεγαλύτερο εύρος της Ευρώπης, στις Ηνωμένες Πολιτείες εξακολουθεί να θεωρείται καινοτόμο προϊόν. Η σχετικά νεαρή αμερικάνικη αγορά και η ξαφνική αύξηση της ζήτησης οδηγούν σε πρόσθετες προκλήσεις για κάθε έργο βιομηχανικής ξυλείας στις Η.Π.Α. Οι λιγοστοί πόροι, σε σχέση με την ζήτηση, και το γεγονός ότι προτείνοντας έναν πύργο 25 ορόφων, όπου εκείνη την χρονική περίοδο ήταν τρεις με τέσσερις φορές πάνω από το όριο που επέτρεπε ο κώδικας, δυσκόλεψε τους κατασκευαστές να θεωρήσουν αρχικά το έργο του Ascent ως ρεαλιστικό και πραγματοποιήσιμο. Εν τέλει η βιομηχανική ξυλεία προμηθεύτηκε από Ευρωπαίους κατασκευαστές, όπου σαν λύση ήταν εφικτή και ανταγωνιστική ως προς το κόστος της προμήθειας και την αποστολή των υλικών με πλοία.



#### 4.1.2. Sara Cultural Center, Σουηδία

Λίγο πιο κάτω από τον Αρκτικό Κύκλο στη βόρεια Σουηδία, στην πόλη Skellefteå, ένας πύργος που φτάνει τα 75 μέτρα, κατασκευασμένος σχεδόν εξολοκλήρου από βιομηχανική ξυλεία, φιλοξενεί ποικίλες χρήσεις στο εσωτερικό του. Το Sara Cultural Center (βλ. Εικόνα 74), σχεδιασμένο από το γραφείο White Arkitekter, αποτελείται από δύο δομικά σύνολα, τον πύργο των 20 ορόφων και μια χαμηλή κατασκευή που στεγάζει το πολιτιστικό κέντρο. Στο εσωτερικό του στεγάζονται γκαλερί τέχνης, μουσείο, θέατρο, η βιβλιοθήκη της πόλης και ένα ξενοδοχείο με εστιατόριο, σπα και συνεδριακό κέντρο. Το συγκεκριμένο έργο είναι άξιο ανάλυσης διότι συνδυάζει χρήσεις με διαφορετικές κατασκευαστικές ανάγκες, για παράδειγμα το ξενοδοχείο και το θέατρο, και δείχνει με αυτόν τον τρόπο τις δυνατότητες των προϊόντων βιομηχανικής ξυλείας και το φάσμα των αναγκών που μπορούν να καλύψουν με την σωστή χρήση τους.

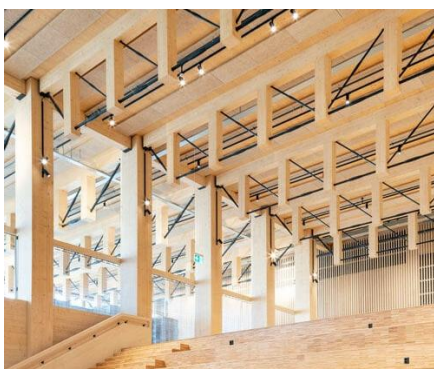


Εικόνα 74. «Εξωτερικές οπτικές του Sara Cultural Center»

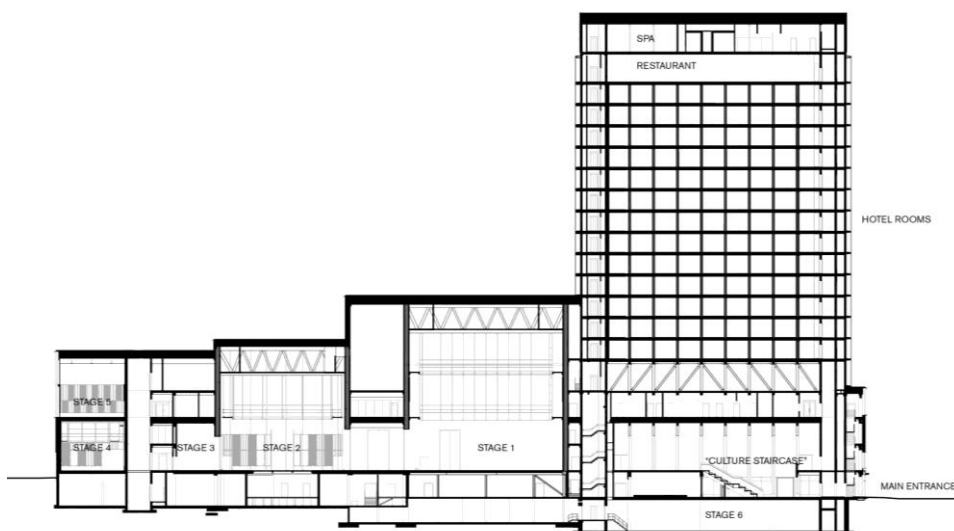
Η κατασκευή του Sara Cultural Center απαίτησε πολλές καινοτόμες λύσεις για τη διαχείριση των ανοιγμάτων, την ευελιξία, την ακουστική και τη διαχείριση των φορτίων. Το ισόγειο απαιτήθηκε να είναι τύπου ανοιχτής μορφής, γεγονός που οδήγησε στο να σχεδιαστεί, η κατασκευή του πύργου, σαν να στηρίζεται επάνω σε ξυλοπόδαρα. Το πολυώροφο ξενοδοχείο είναι κατασκευασμένο από προκατασκευασμένες μονάδες CLT στοιβαγμένες ανάμεσα σε δύο πυρήνες ανελκυστήρα, επίσης εξ ολοκλήρου κατασκευασμένοι από CLT (βλ. Εικόνα 75). Το Πολιτιστικό κέντρο, στους χαμηλότερους ορόφους, είναι χτισμένο με κολόνες και δοκούς από βιομηχανική ξυλεία, τύπου Glulam και πυρήνες και διατμητικούς τοίχους από CLT (βλ. Εικόνα 77). Μια τριώροφη κοιλότητα στην κύρια είσοδο καλύπτεται από ένα τεχνικό δάπεδο, όπου οι υβριδικές χαλύβδινες γεφυρώσεις μεταφέρουν φορτία από ψηλά (βλ. Εικόνα 76), χαρακτηριστικό που εμφανίζεται γενικά στο κτίριο. Ο τελικός δομικός σχεδιασμός έχει εξαλείψει την ανάγκη για σκυρόδεμα εξολοκλήρου από τη φέρουσα δομή, επιταχύνοντας την κατασκευή και μειώνοντας δραστικά το αποτύπωμα άνθρακα του κτιρίου.



Εικόνα 76. «Φωτογραφία κατά την τοποθέτηση των προκατασκευασμένων μονάδων CLT»



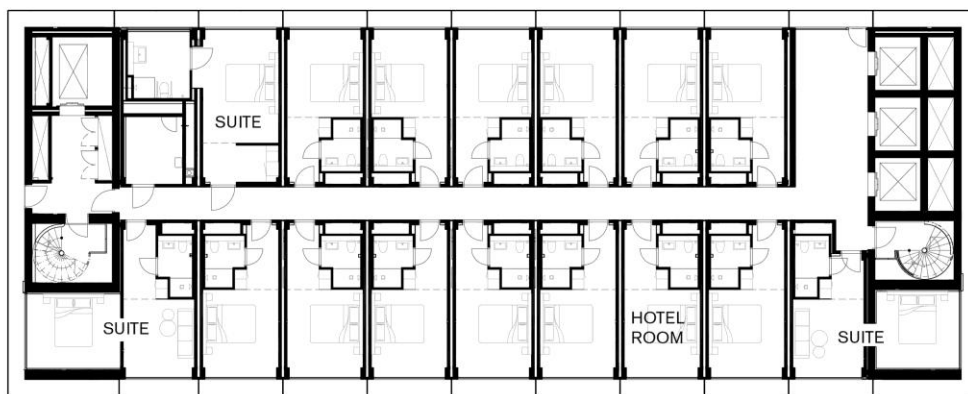
Εικόνα 77. «Υβριδικές χαλύβδινες γεφυρώσεις»



Εικόνα 75. «Κατά μήκος τομή του κτιρίου. Απεικόνιση των διαφορετικών στοιχείων της κατασκευής»

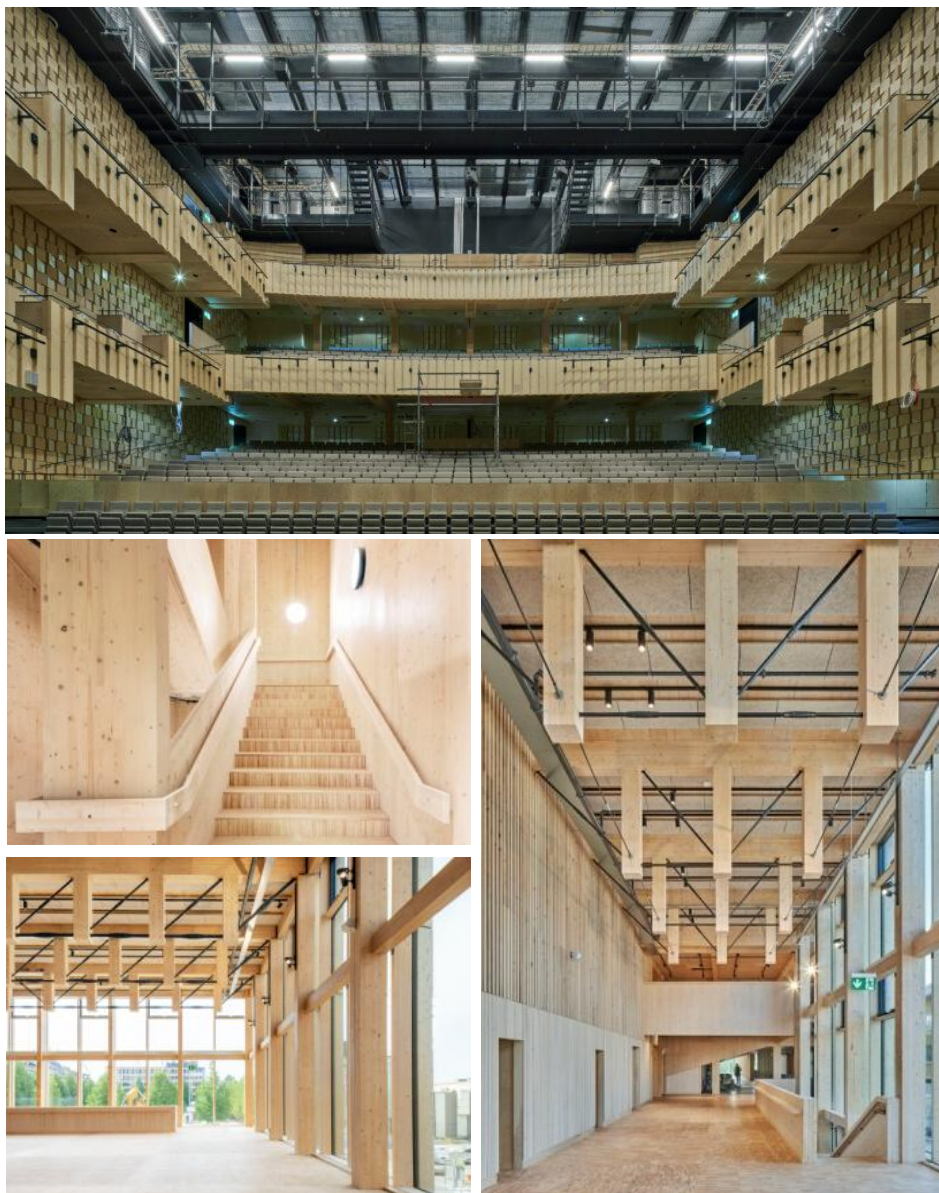


Μια πρόκληση ήταν η ικανοποίηση των δομικών απαιτήσεων σταθερότητας του πύργου. Το κτίριο απαιτούσε ακαμψία εξαιτίας της ελαφρότητας του CLT και αυτό επιλύθηκε, εν μέρει, με την ενσωμάτωση στύλων στις τέσσερις γωνίες των μονάδων, καθώς και τεσσάρων χαλύβδινων βραχιόνων που δένουν κάθε μονάδα με τις διπλανές της, σχηματίζοντας έτσι ένα είδος δομικού πλέγματος. Στους δύο τελευταίους ορόφους τοποθετήθηκαν πλάκες σκυροδέματος που λειτουργούν ως αποσβεστήρες για να προσθέσουν βάρος στην κατασκευή και να προστατέψει το κτίριο από στέψη λόγω ανεμοπιέσεων. Σημαντικό ρόλο στην κατασκευή έχει η συνέπεια των διαστάσεων, δηλαδή να μην υπάρχουν διαφοροποιήσεις στις διαστάσεις σε ένα μεγάλο ποσοστό της κατασκευής, διότι έτσι επιτυγχάνεται η συνολική απλότητα στο κτίριο. Για αυτόν τον λόγο, οι προκατασκευασμένες μονάδες, που προαναφέρθηκαν, είναι όλες σχεδιασμένες λεπτομερώς, χωρίς αλλαγές μεταξύ τους έτσι ώστε να διατηρηθεί η απλότητα και ομοιομορφία καθ' ύψος. Επίσης, κάθε μονάδα λαμβάνει τα φορτία των υπόλοιπων που στοιβάζονται από πάνω της, αλλά οι μονάδες δεν γίνονται πιο αδύναμες ή ελαφρύτερες στα ανώτερα δάπεδα, διότι μέσω κάποιων αναλύσεων παρατηρήθηκε ότι το μειωμένο κόστος λιγότερου υλικού για ποικίλα μεγέθη μονάδων δεν αντισταθμίζει το κόστος που θα προσέθετε η πολυπλοκότητα στη μηχανική και την κατασκευή-συναρμολόγηση του συγκεκριμένου σημείου.



Εικόνα 78. «Κάτοψη τυπικού ορόφου δωματίων ξενοδοχείου»

Καθώς, πολλά κτίρια μαζικής ξυλείας χρησιμοποιούν, όποτε είναι εφικτό, ξύλα από κοντινά δάση. Στην περίπτωση του Sara Cultural Center η ξυλεία που χρησιμοποιήθηκε προέρχεται από τοπικά δάση με βιώσιμη διαχείριση και έχει υποστεί επεξεργασία σε κοντινό πριονιστήριο. Το εξωτερικό του κτιρίου κοσμείται από περσίδες για την προστασία του εσωτερικού από τον εικοσιτετράωρο καλοκαιρινό ήλιο, κατά την θερινή περίοδο, και ένα σύστημα που βασίζεται σε αντλία θερμότητας παρέχει ενεργειακά βιώσιμη θέρμανση και ψύξη. Συνολικά 1.200 τ.μ ηλιακών συλλεκτών μειώνουν την ανάγκη παροχής μεγάλης ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο και ένα ενσωματωμένο σύστημα, βασισμένο σε τεχνητή νοημοσύνη, προσαρμόζει τη χρήση ενέργειας ανάλογα με την πληρότητα του κτιρίου ως μια ολιστική προσέγγιση του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού. Όπως είναι φανερό γίνονται έντονες προσπάθειες, πέρα από την κατασκευή με βιομηχανική ξυλεία, να μειωθεί το αποτύπωμα εκπομπών άνθρακα του κτιρίου, με το γραφείο White Arkitekter να εκτιμάει πως σε 50 χρόνια, από την κατασκευή του, το Sara Cultural Center θα αποτελεί κτίριο με αρνητικό ισοζύγιο άνθρακα.



Εικόνα 79. «Κολάζ φωτογραφιών από το εσωτερικό του Sara Cultural Center»

#### 4.1.3. Tamedia Office Building, Σουηδία

Το κτίριο για τα κεντρικά γραφεία της ελβετικής εταιρείας MME Tamedia, από το γραφείο “Shigeru Ban Architects”, είναι το πρώτο επταώροφο κτίριο βιομηχανικής ξυλείας της Σουηδίας και το 2013 που τελείωσε η κατασκευή του ήταν οριακά νόμιμο σαν κατασκευή. Βρίσκεται στην καρδιά της πόλης της Ζυρίχης, σε έναν χώρο 1000 τ.μ. εντός ενός μεγαλύτερου αστικού οικοδομικού τετραγώνου όπου βρίσκονται τα κύρια κτίρια του ομίλου. Πρόκειται για ένα κτίριο το οποίο θέλει να μιμηθεί, κατά μία έννοια, την πρόσοψη των ήδη υπάρχων κτιρίων για να δημιουργήσει μια συνέχεια στην όψη. Με τις επιλογές που γίνονται για την κατασκευή του κτιρίου αποδεικνύεται ότι μια μίμηση μπορεί να είναι διαφορετική και καινοτόμα.



Εικόνα 80. «Εξωτερική οπτική από την είσοδο του Tamedia Office Building»



Εικόνα 81. «Τελική μορφή φέροντα οργανισμού»

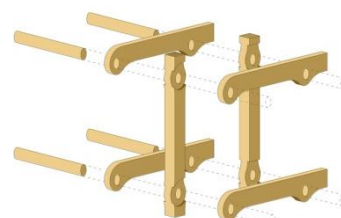
Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του έργου είναι η πρόταση ενός φέροντα οργανισμού που είναι εξ ολοκλήρου σχεδιασμένο από ξύλο (βλ. Εικόνα 81), το οποίο, εκτός από τον καινοτόμο χαρακτήρα από τεχνική και περιβαλλοντική άποψη, προσδίδει και μια μοναδική εμφάνιση στο κτίριο, εσωτερικά αλλά και από έξω κοιτώντας προς τα μέσα. Προκειμένου να ενισχυθεί και να εκφραστεί επιτυχώς αυτή η ιδέα, το κέλυφος αποτελείται από υαλοστάσια, δίνοντας προσοχή στην επίτευξη χαμηλών επιπέδων μετάδοσης ενέργειας. Ο προκατασκευασμένος σκελετός αποτελείται από 2.000 κυβικά μέτρα ξυλείας Glulam, η οποία συγκρατείται εντελώς αυτόνομα, δηλαδή χωρίς βίδες ή καρφιά, με έναν νέο δομικό σύστημα που ανέπτυξε ο Ιάπωνας αρχιτέκτονας Ban σε συνεργασία με τον Ελβετό μηχανικό Hermann Blumer (βλ. Εικόνα 84).



Εικόνα 83. «Η εξ ολοκλήρου από υαλοστάσια πρόσοψη»



Εικόνα 82. «Μορφή σημείων συνάντησης δοκών με τα υποστυλώματα»



Εικόνα 84. «Διάγραμμα συναρμολόγησης δομικού συστήματος»

Η διαδικασία προκατασκευή διήρκησε περίπου μισό χρόνο, ενώ το δομικό σύστημα συναρμολογήθηκε επί τόπου σε μόλις τρεις μήνες, δουλεύοντας σε οκτώ τμήματα που το καθένα έπρεπε να ολοκληρωθεί πριν έρθει το φορτηγό για το επόμενο τμήμα, λόγω της έλλειψης αποθηκευτικού χώρου στη στενή αστική περιοχή. Κάθε τμήμα αποτελείται από τέσσερις κολώνες, που φτάνουν μέχρι το πλήρες ύψος του κτιρίου των 21 μέτρων, και πέντε διπλές εγκάρσιες δοκούς με διχαλωτά άκρα που σχεδιάστηκαν για να τοποθετηθούν γύρω από τις κολώνες. Οι στρατηγικές οπές στα σημεία σύνδεσης τους επιτρέπουν την εισαγωγή μια μακράς, οριζόντιας δοκού αποστάτη, η οποία ωθείται μέχρι τέλους μέσα από κάθε κολόνα με συγκεκριμένη σειρά ώστε να κλειδώσει αποτελεσματικά όλα τα διαφορετικά στοιχεία (βλ. Εικόνα 76). Για την περαιτέρω ενίσχυση των αρμών, ο Blumer, πρόσθεσε παχιά πλακίδια

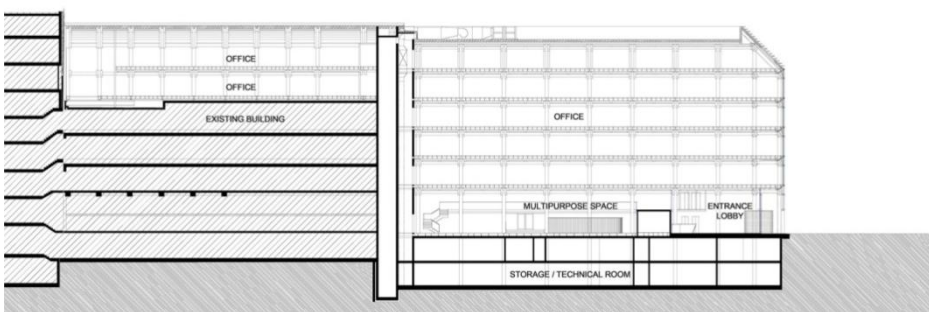


Εικόνα 85. «Λεπτομέρεια πλακιδίων και πείρων στα σημεία ένωσης»

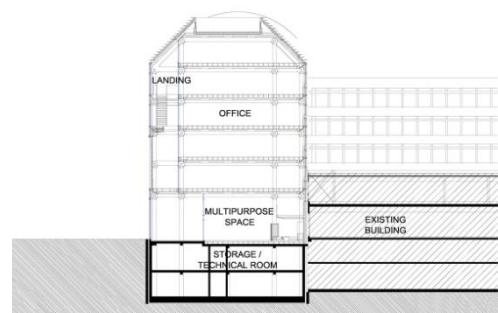


και πείρους από κόντρα πλακέ οξιάς στο εσωτερικό των συνδέσεων, παρέχοντας έτσι βελτιωμένη εγκάρσια αντοχή (βλ. Εικόνα 85). Τα υποστυλώματα, διατεταγμένα σε μια διπλή σειρά που εκτείνεται σε όλη την περιφέρεια του κτιρίου, λειτουργούν ως κατακόρυφα δεσμάτα για να συγκρατούν τα δάπεδα. Τέλος, ο ξύλινος σκελετός παραμένει εντελώς ακατέργαστος και εκτεθειμένος σε όλο το κτίριο, ώστε να δημιουργείται η εντύπωση στον επισκέπτη ότι βρίσκεται ανάμεσα σε ένα δάσος.

Για την πυρασφάλεια του κτιρίου, αντί να προστεθεί μια επένδυση γύρω από την βιομηχανική ξυλεία έγινε η επιλογή να υπερδιαστασιολογηθούν όλα τα δομικά στοιχεία κατά 40 χιλιοστά, σε όλες τις πλευρές τους. Σύμφωνα με τους μηχανικούς του έργου, αυτό το εξωτερικό στρώμα θα μετατραπεί σε κάρβουνο όταν έρθει σε επαφή με τη φωτιά και θα θωρακίσει τον πυρήνα έως και για 60 λεπτά. Για την έξοδο έκτακτης ανάγκης, ο Ban πρόσθεσε δύο κλιμακοστάσια από σκυρόδεμα καθώς και την επένδυση των ξύλινων τοίχων και οροφών με γυψοσανίδες και μοριοσανίδες συνδεδεμένες με τσιμέντο, για την περαιτέρω βελτίωση της πυρασφάλειας.



Εικόνα 86. «Κατά μήκος τομή του έργου και διπλανού κτιρίου»



Εικόνα 87. «Κατά πλάτος τομή έργου»

Η γυάλινη πρόσοψη λειτουργεί ουσιαστικά ως επιδερμίδα πάνω από τον φέροντα οργανισμό, αντί να αποτελεί αυτοτελές δομικό στοιχείο. Πέρα από τα τριπλά τζάμια, που χρησιμοποιήθηκαν στο κτίριο, σχεδιάστηκαν πρόσθετα μέτρα ενεργειακής απόδοσης, όπως μια διπλή πρόσοψη βάθους τριών μέτρων στην πλευρά που βλέπει προς τον ποταμό, στον χώρο μεταξύ της διπλής σειράς υποστυλωμάτων. Η διπλή πρόσοψη λειτουργεί ως θερμικό μαξιλάρι και παρέχει φυσικό αερισμό, αφού ολόκληρα τμήματα της πρόσοψης έχουν την δυνατότητα να ανοίξουν με μηχανοκίνητες ράγες για να δημιουργήσουν αυτοσχέδια μπαλκόνια. (βλ. Εικόνα 79, 80)



Εικόνα 89. «Πρόσοψη με όλα τα τμήματα του υαλοστασίου κλειστά»



Εικόνα 88. «Πρόσοψη με τα ανοικτά τμήματα του υαλοστασίου και αποκάλυψη μπαλκονιών»

Σύμφωνα με τον Ban, το δομικό σύστημα που αναπτύχθηκε για το κτίριο της Tamedia θα μπορούσε με ευκολία να χρησιμοποιηθεί και για την κατασκευή των ψηλότερων κατασκευών που κυριαρχούν σήμερα στη σκηνή της μαζικής ξυλείας.

«Αμιγώς ξύλινα κτίρια μεγάλης κλίμακας: Η αναγέννηση της ξύλινης κατασκευής»



Εικόνα 90. «Κολάζ φωτογραφιών από το εσωτερικό του Tamedia Office Building »



#### 4.1.4. Tianfu Agriculture Expo Park, Κίνα

Το Tianfu Agriculture Expo Park, σχεδιασμένο από τον Cui Kai, αποτελεί μέρος ενός μεγάλο αναπτυξιακού προγράμματος στην ευρύτερη μητροπολιτική περιοχή της Chengdu, η οποία έχει ως στόχο να ανταγωνιστεί τα μεγάλα οικονομικά κέντρα της Κίνας. Με έκταση μεγαλύτερη των 75.000 τ.μ αποτελεί την μεγαλύτερη ξύλινη κατασκευή της Ασίας και μια από τις μεγαλύτερες ξύλινες κατασκευές στον κόσμο.



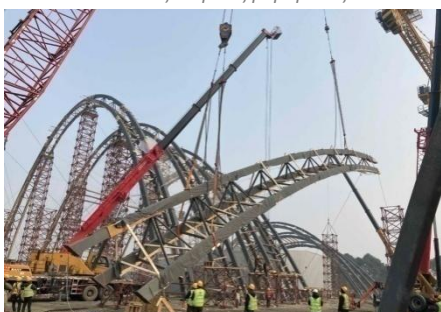
Εικόνα 91. «Οπτική Tianfu Agriculture Expo Park από ψηλά»



Εικόνα 93. «Τελική οπτική των δικτυωμάτων»



Εικόνα 92. «Εξωτερικές μεμβράνες ETFE»



Εικόνα 94. «Τοποθέτηση των δικτυωμάτων του κάθε τόξου»



Εικόνα 95. «Οι χαλύβδινες κατασκευές κάτω από την αψίδα, κατά την διάρκεια συναρμολόγησης της»

Αυτή η σειρά θόλων χρησιμοποιεί μοναδικά δικτυώματα που αποτελούν ένα υβρίδιο ξύλινων χορδών και χαλύβδινων ιμάντων, για να επιτευχθούν ελεύθερα ανοίγματα έως 110 μέτρα και ύψη έως 44 μέτρα. Οι θόλοι αυτοί είναι ανοιχτοί, ενθαρρύνοντας την άμεση σύνδεση με τις γύρω αγροτικές εκτάσεις και στεγάζοντας μουσεία και παρουσιάζοντας γεωργικά προϊόντα της περιοχής. Οι διατομές των αψίδων είναι τριγωνικές και κάθε διατομή αποτελείται από δύο μονές κάτω χορδές και μια διπλή άνω χορδή, με ένα βαθύτερο και πιο πλατύ δικτυωτό στήριγμα κοντά στο κάτω μέρος (βλ. Εικόνα 93). Ο τριγωνικός, αυτός, χαρακτήρας είναι δομικά πιο αποτελεσματικός από έναν ενεργό σε κάμψη ιστό Vierendeel. Επειδή η διπλή άνω χορδή είναι εκτεθειμένη, απαιτείται καλά σχεδιασμένη προστασία από τις καιρικές συνθήκες. Οι τεγίδες από βιομηχανική ξυλεία τύπου Glulam υποστηρίζουν τις προεντεταμένες εξωτερικές μεμβράνες καιρού ETFE έναντι των δύο γειτονικών τόξων στην κορυφή των κάτω χορδών του δικτυώματος. Το ίδιο δομικό σύστημα χρησιμοποιείται και στα πέντε κτίρια, για αυτόν τον λόγο στην προκειμένη περίπτωση είναι ιδανική η περίπτωση της τυποποίησης. Αφού έφτασαν από την Ευρώπη, τα προκατασκευασμένα εξαρτήματα των τόξων συναρμολογήθηκαν εκτός εργοταξίου στην Κίνα και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν στις θέσεις τους με γερανούς στο εργοτάξιο. (βλ. Εικόνα 94)

Η κατασκευή των υπερκείμενων κατασκευών ξεκίνησε μετά την ολοκλήρωση όλων των εσωτερικών χαλύβδινων κατασκευών, που στεγάζουν μουσεία και εκθέσεις γεωργικών προϊόντων όπως προαναφέρθηκε, για να εξασφαλιστεί η πρόσβαση γερανών κάτω από το κτίριο (βλ. Εικόνα 95). Αφού διερευνήθηκαν διάφορες μεθοδολογίες ανέγερσης αποδείχθηκε ότι οι πύργοι υποστήλωσης μπορούσαν να στηριχθούν από τις χαλύβδινες αυτές κατασκευές, όπου ήταν απαραίτητο. Αφού ανεγέρθηκε μια ακολουθία τόξων και συνδέθηκαν μεταξύ τους με τεγίδες, οι περισσότεροι πύργοι υποστήλωσης μπορούσαν να αφαιρεθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν για τα επόμενα τόξα.



Εικόνα 96. «Κολάζ φωτογραφιών του Tianfu Agriculture Expo»



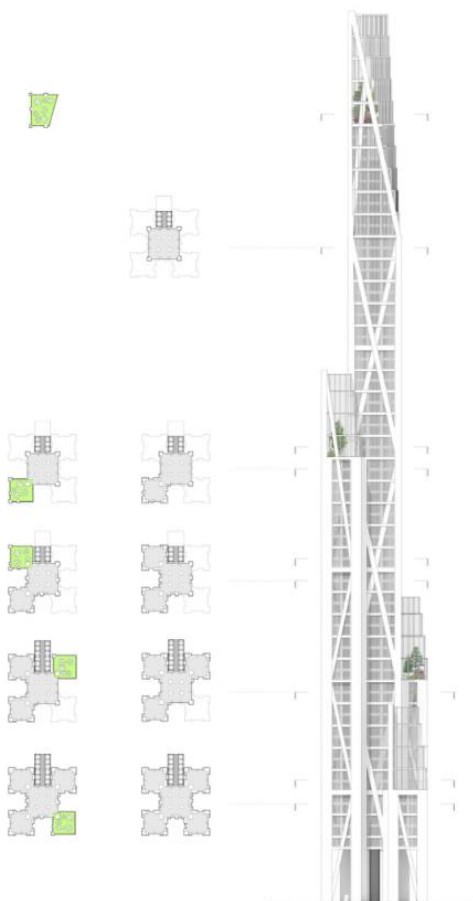
#### 4.2.1. The Oakwood Timber Tower, Λονδίνο

Το γραφείο PLP Architecture και ερευνητές από το πανεπιστήμιο του Cambridge σχεδιάζουν τον πρώτο ξύλινο ουρανοξύστη, 300 μέτρων και 85 ορόφων, του Λονδίνου, στον οικισμό Barbican. Ακολουθώντας την αναδυόμενη τάση για πολυώροφα κτίρια με ξύλινο σκελετό, οι PLP Architecture και το τμήμα Αρχιτεκτονικής του Πανεπιστημίου του Cambridge ανέπτυξαν την πρόταση, μαζί με τους μηχανικούς Smith και Wallwork, για να προσφέρουν μια εναλλακτική λύση στην παραδοσιακή κατασκευή από χάλυβα και σκυρόδεμα.

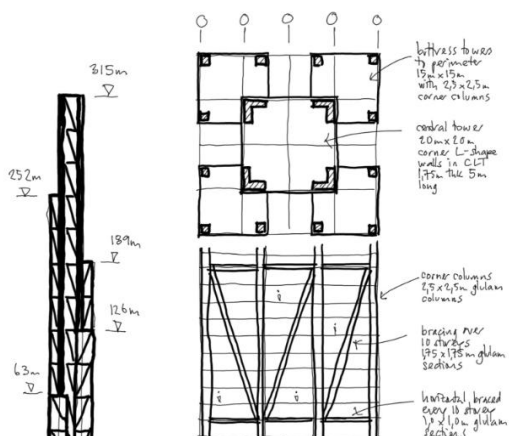


Εικόνα 97. «Φωτορεαλιστική απεικόνιση Oakwood Tower»

Για το Oakwood Tower, οι εξαιρετικές ιδιότητες του ξύλου ως προς την κατανομή των φορτίων παράλληλα με τις ίνες του οδήγησαν στην χρήση γραμμικών και όχι επίπεδων στοιχείων ως κύριων κατακόρυφων και πλευρικών διαδρομών του φορτίου. Ομοίως, η ανάγκη να κατευθυνθεί το φορτίο σε ένα περιμετρικό σύστημα αντίστασης πλευρικών φορτίων οδήγησε σε έναν σχεδιασμό που επιδίωξε να μεγιστοποιήσει τα ελεύθερα ανοίγματα στην κύρια πλάκα του ορόφου, μεταφέροντας τα φορτία, σχεδόν εξ ολοκλήρου, στο περιμετρικό σύστημα δοκών που χαρακτηρίζει την αρχιτεκτονική και δομική έκφραση του κτιρίου. Η πρόβλεψη υποπύργων που λειτουργούν ως υποστυλώματα του κεντρικού πύργου αυξάνει το βάθος του κτιρίου, που είναι διαθέσιμο για να αντισταθεί στην ανατροπή του, στα κρίσιμα χαμηλότερα επίπεδα (Βλ. Εικόνα 99). Τα μεγάλα στοιχεία του φέροντα οργανισμού έχουν σχεδιαστεί με βιομηχανική ξυλεία τύπου Glulam σε ασυνήθιστη κλίμακα. Στα κατώτερα επίπεδα απαιτούνται στύλοι που υπερβαίνουν τα δύο μέτρα, αν και στύλοι παρομοίου μεγέθους θα απαιτούνται και αν ήταν από σκυρόδεμα. Η ξυλεία Glulam επιλέχθηκε τόσο λόγω της διαθεσιμότητας του υλικού, όσο και λόγω της ευνοϊκής ειδικής αντοχής και δυσκαμψίας της σε σχέση με το χάλυβα.



Εικόνα 98. «Όψη του πύργου και κατόψεις διάφορων επιπέδων»



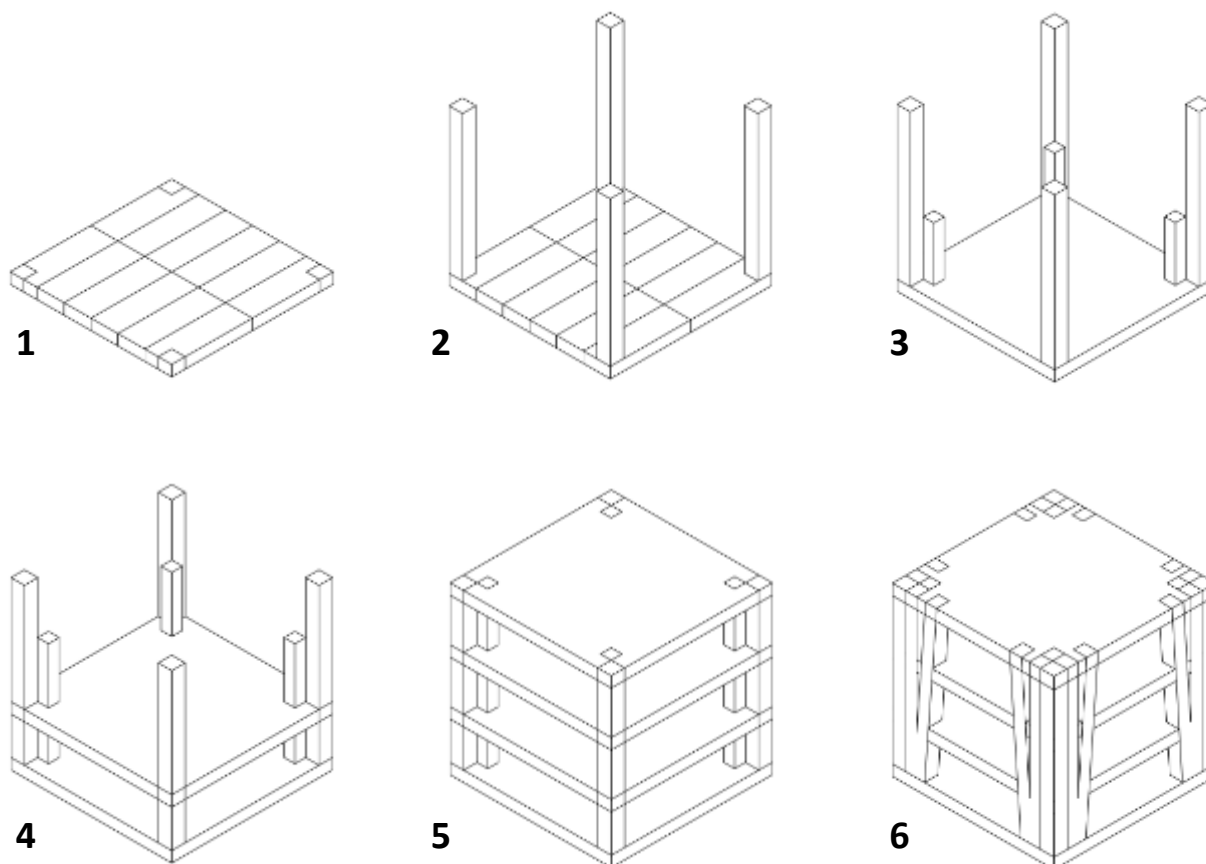
Εικόνα 99. «Σκίτσα που απεικονίζουν διαγραμματικά τα ύψη των υποπύργων, την κατοικήσιμη δομή του φέροντα οργανισμού και την σύνθεση του περιμετρικού συστήματος αντίστασης»

Το μεγάλο μέγεθος και οι αποστάσεις μεταξύ των τεράστιων ξύλινων στοιχείων παίζουν σημαντικό ρόλο στη στρατηγική πυρασφάλεια του κτιρίου. Υπό συνθήκες πυρκαγιάς, όπως συναντάμε και σε άλλα παραδείγματα, η εξωτερική επιφάνεια των παχιών ξύλινων στοιχείων αρχίζει να απανθρακώνεται, σχηματίζοντας ένα προστατευτικό στρώμα που μονώνει την ξυλεία από κάτω. Τα βασικά δομικά στοιχεία αναμένεται έτσι να διατηρήσουν τη δομική τους ακεραιότητα, ακόμη και χωρίς άλλες μορφές προστασίας. Αν και η περαιτέρω πυροτεχνική μελέτη της ιδέας του Oakwood Tower βρίσκεται σε εξέλιξη, οι αρχικές ενδείξεις δείχνουν ότι η συγκεκριμένη δομική στρατηγική παρέχει μια υγιή και ασφαλή βάση για τον περαιτέρω σχεδιασμό.



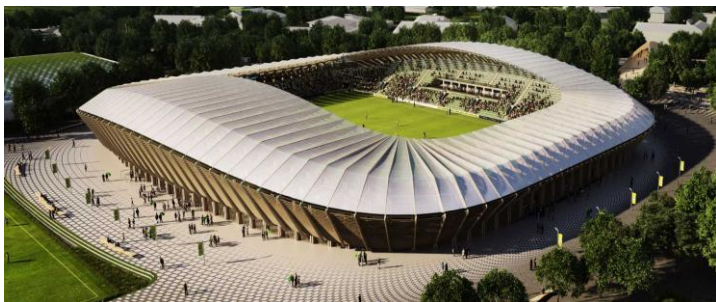
Εικόνα 100. «Φωτορεαλιστικές απεικονίσεις Oakwood Tower»

Τέλος, το κτίριο έχει σχεδιαστεί με βάση ένα σπονδυλωτό σύνολο εξαρτημάτων, ξεκινώντας από μια ενιαία σανίδα και καταλήγοντας σε ένα πολυώροφο στοιχείο στήριξης. Η βασική σανίδα έχει διαστάσεις 2,50x7,50 μέτρα και συνθέτει μια πλάκα 15x15 μέτρων. Έπειτα, στις τέσσερις γωνίες τοποθετούνται υποστυλώματα ύψους τριών ορόφων και προστίθενται εσωτερικά κι άλλα, ύψους ενός ορόφου, για την στήριξη των πλακών. Αφού ολοκληρωθούν οι απαιτούμενοι όροφοι τοποθετείται η διαγώνια αντιστήριξη στο εξωτερικό της κατασκευής (βλ. Εικόνα 101). Η μέθοδος κατασκευή στηρίζεται σε έναν μηχανισμό που αναρριχάται μαζί με το κτίριο, επιτρέποντας την συναρμολόγηση του δομικού συστήματος, των δαπέδων και των εσωτερικών χωρισμάτων επί τόπου, σαν σε συνθήκες εργοστασίου.



Εικόνα 101. «Κολλάζ σκίτσων διαδικασία κατασκευής»

#### 4.2.2. Forest Green Rovers stadium, Gloucestershire, Αγγλία



Εικόνα 102. «Φωτορεαλιστική απεικόνιση από ψηλά»

Οι Forest Green Rovers, ένας ποδοσφαιρικός σύλλογος στο Gloucestershire, έχει κερδίσει πολλά βραβεία σε θέματα πράσινης επιχειρηματικότητας, αναψυχής και βιωσιμότητας. Στην προσπάθεια του να επεκταθεί και να μετακομίσει από την τρέχουσα έδρα του στο Nailsworth, μέσω διαγωνισμού, επιλέχθηκε η πρόταση των Zaha Hadid Architects (ZHA) για ένα γήπεδο εξολοκλήρου φτιαγμένο από ξύλο. Το νέο γήπεδο θα αποτελέσει το επίκεντρο της ανάπτυξης ενός νέου πάρκου, του Eco Park, όχι μόνο για την ομάδα αλλά και για την κοινότητα. Το Eco Park, έκτασης 100 στρεμμάτων, αξίας 100 εκατομμυρίων λιρών, θα περιλαμβάνει υπερσύγχρονες αθλητικές εγκαταστάσεις, γήπεδα προπόνησης με γρασίδι και γήπεδα προπόνησης παντός καιρού, δημόσιες εγκαταστάσεις πολλαπλών χρήσεων και έναν κόμβο αθλητικής επιστήμης. Θα κατασκευαστεί σε δύο φάσεις, επιτρέποντας την επέκταση των θέσεων από 5.000 σε 10.000 καθώς η ανάπτυξη μεγαλώνει.

Κάθε δομικό στοιχείο του σταδίου έχει υπολογιστεί έτσι ώστε οι κερκίδες και η πλάκα του δαπέδου να μπορούν να κατασκευαστούν από ξύλο αντί για σκυρόδεμα ή χάλυβα. Το γήπεδο θα διαθέτει προβαλλόμενη στέγη, κατασκευασμένη από CLT ξυλεία, με το ανώτερο τμήμα της να καλύπτεται από διαφανή επένδυση μεμβράνης. Σύμφωνα με τους ZHA η διάφανη μεμβράνη συμβάλλει στην ανάπτυξη του χλοοτάπητα, ελαχιστοποιεί τις έντονες σκιές για τους παίκτες και τους φιλάθλους και μειώνει το ογκομετρικό αντίκτυπο του σταδίου απέναντι στο γύρω τοπίο.



Εικόνα 103. «Κολάζ φωτορεαλιστικών απεικονίσεων»



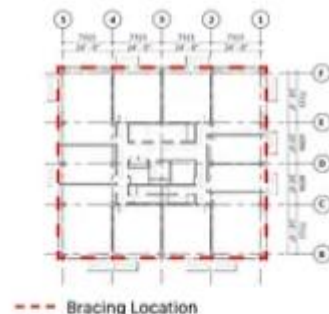
#### 4.2.3. Proto-Model X (PMX-35), A Prototype of the World's Tallest Net-Zero Timber Building

Η αρχιτεκτονική εταιρεία Gensler και η Sidewalk Labs συνεργάστηκαν για να διερευνήσουν πως με προκατασκευασμένα, εκτός εργοταξίου, προϊόντα μπορούν να κατασκευάσουν επαναλαμβανόμενα ξύλινα δομικά στοιχεία έτσι ώστε να φτάσουν τις ξύλινες κατασκευές όσο υψηλότερα γίνεται με μηδενική απώλεια ενέργειας. Το αποτέλεσμα αυτής της έρευνας είναι το Proto-Model X ή PMX-35, ένα κτίριο 43.850 τ.μ, περίπου, που σχεδιάστηκε για να φιλοξενήσει 35 ορόφους λιανικής πώλησης, γραφείων, κατοικιών και εγκαταστάσεων εξυπηρέτησης του κτιρίου κάτω από το έδαφος, για τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας του κτιρίου.

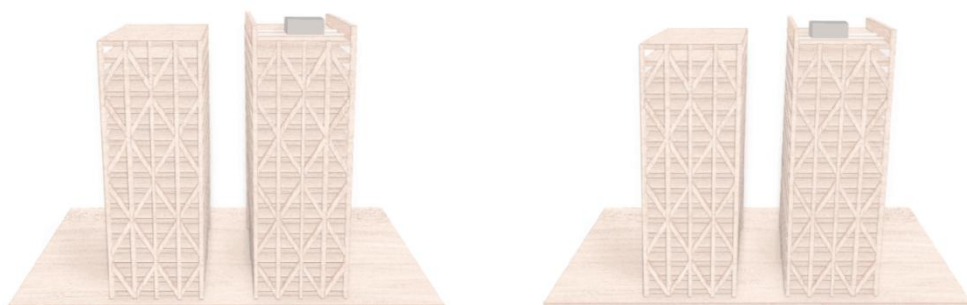
Με ύψος περίπου 130 μέτρα και πλάτος 48 μέτρα, η ιδέα για το PMX-35 στοχεύει στην επίτευξη φιλόδοξων στόχων γύρω από τη χρήση ενέργειας, που τείνουν προς μηδενικές εκπομπές CO<sub>2</sub>. Για την επίτευξη αυτών η ομάδα του έργου ανέπτυξε ένα σύνολο εξαρτημάτων, μέσω συνεργασίας με την Sidewalk Labs για την παραγωγή τυποποιημένων δομικών υλικών, καθώς και ψηφιακών και ρομποτικών τεχνολογιών προκειμένου να υποστηριχθεί η κατασκευή σε τοπικό επίπεδο. Το έργο έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε το σύνολο της υπερμεγέθους αυτής δομής και περίπου το 90% της πρόσοψης, του μηχανολογικού, ηλεκτρικού και υδραυλικού συστήματος να μπορεί να προκατασκευαστεί εκτός εργοταξίου. Αυτό αποτελεί ένα εξαιρετικά δύσκολο εγχείρημα και για να επιτευχθεί έπρεπε να επαναληφθεί επανειλημμένα η μοντελοποίηση του κτιρίου, έτσι ώστε να μειωθεί ο αριθμός των μοναδικών τμημάτων του. Ξεκινώντας με 3.500 μοναδικά πάνελ δαπέδου επιτεύχθηκε, εν τέλει, η μείωση τους σε μόλις 6. Εξίσου σημαντικό ζήτημα ήταν η αντοχή στην πλευρική πίεση στο κτίριο των 35 ορόφων όπου υιοθετήθηκαν τακτικές μηχανικής που αποτελούν χαρακτηριστικά για το σχεδιασμό πολύ ψηλών κτιρίων, όπως ένας εξωσκελετός με πλάγια-χιαστί στηρίγματα και έναν συντονισμένο αποσβεστήρα μάζας. Ο εξωσκελετός του PMX-35 αποτελείται από μεγάλες ξύλινες δοκούς που διασχίζουν την πρόσοψη του κτιρίου (βλ. Εικόνα 106). Μεταφέροντας την αντιστήριξη στο εξωτερικό του κτιρίου, αντί να έχει ογκώδεις τοίχους και χωρίσματα σε όλο το κτίριο, το σύστημα αυτό ανοίγει τις εσωτερικές κατόψεις, αφήνοντας πολύ περισσότερο ανοιχτό χώρο σε κτίρια με μεγαλύτερα ύψη. Έτσι, οι τοίχοι του πυρήνα από 1,50 μέτρο πάχος μειώνονται σε 25 εκατοστά. Ένας συντονισμένος μαζικός αποσβεστήρας είναι συνήθως ένα βαρύ μέλος που συνδέεται με ελατήρια με τη δομή του κτιρίου, στο επίπεδο του ρετιρέ. Στην περίπτωση αυτή ο σχεδιασμός του PMX-35 προβλέπει ένα αδρανές υλικό κατασκευασμένο από προϊόντα αποβλήτων για περαιτέρω μείωση του αποτυπώματος CO<sub>2</sub> του κτιρίου, το οποίο συμβάλλει στην απορρόφηση κραδασμών, δρώντας ως αντισταθμιστική δύναμη στον άνεμο και στους σεισμούς.



Εικόνα 104. «Φωτορεαλιστική απεικόνιση του PMX-35»



Εικόνα 106. «Κάτοψη και τρισδιάστατη απεικόνιση εξωσκελετού»



Εικόνα 105. «Διάγραμμα αποσβεστήρα μάζας, ο οποίος κινείται δεξιά κ αριστερά αντίθετα από την κίνηση του κτιρίου»

Τέλος, έγινε μια ακόμα έρευνα, περισσότερο σχεδιαστικού χαρακτήρα. Εκμεταλλευόμενοι την τυποποίηση και τα προκατασκευασμένα προϊόντα που αναφέρθηκε και προηγουμένως ότι παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο, διαμόρφωσαν πέντε διαφορετικές επιδερμίδες του ίδιου κτιρίου. Η κάθε λύση αποτελείται από προκατασκευασμένα στοιχεία τα οποία προσφέρουν άλλη αισθητική και πρακτική λύση. Κάποιες είναι πιο απλές και άλλες πιο σύνθετες στον σχεδιασμό τους αλλά και στα μοτίβα τα οποία δημιουργούν. Από πρακτικής απόψεως η κάθε μια έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά που κυρίως έχουν να κάνουν με την σκίαση και το φιλτράρισμα του ηλιακού φωτός. Υπάρχουν επιλογές που αφήνουν τους εσωτερικούς χώρους αρκετά εκτεθειμένους, άλλες που φιλτράρουν το ηλιακό φως με κάποιο μοτίβο στην πρόσοψη και άλλες που χρησιμοποιούν σκίαστρα.



Εικόνα 107. «Κολλάζ των 5 διαφορετικών επιδερμίδες του PMX-35, μαζί με τα διαφορετικά κομμάτια τους»

## **Συμπεράσματα**

Το ξύλο είναι αναπόσπαστο στοιχείο του πολιτισμού του ανθρώπου, ως φυσικό πόρο, το οποίο αποτελεί ένα πολύ σημαντικό και αναπόσπαστο κομμάτι της ιστορίας των κατασκευών ανά τον κόσμο. Έχοντας πρωταγωνιστικό ρόλο ως βασικό υλικό δόμησης, για πολλά χρόνια, παρατηρείται μια τεράστια ποικιλία διαφορετικών κατασκευών στις οποίες το ίδιο υλικό, το ξύλο, επεξεργάζεται και χρησιμοποιείται με διαφορετικές τεχνικές για να ικανοποιήσει ποικίλες ανάγκες. Με την πάροδο του χρόνου και την ανάπτυξη της οικοδομικής τεχνολογίας το ξύλο αντικαταστάθηκε από το σκυρόδεμα και το μέταλλο, τα οποία εδραιώθηκαν στον τομέα των κατασκευών και οι κατασκευές από ξύλο περιορίστηκαν τόσο σε αριθμό όσο και σε μέγεθος.

Ο 21<sup>ος</sup> αιώνας σηματοδοτεί την αναγέννηση της οικοδόμησης με ξύλο. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας και οι έρευνες πάνω στο υλικό, αναδείξανε νέες τεχνικές και δυνατότητες, προβάλλοντας το ξύλο ως ένα υλικό που φέρει πολλά θετικά χαρακτηριστικά και ξεπερνάει τις (μέχρι τώρα) γνωστές κατασκευαστικές δυνατότητες. Έτσι, η λεγόμενη βιομηχανική ξυλεία ξεκίνησε να εφαρμόζεται σε κτίρια πολύ μεγαλύτερα από το συνηθισμένο, για τέτοιου είδους κατασκευές. Στόχος, όμως, δεν είναι να δημιουργηθεί, απλά ένας νέος τρόπος κατασκευής, σαν μια νέα μόδα. Αυτός ο νέος τρόπος δόμησης εδραιώνεται στις μέρες μας διότι προσφέρει ταχύτερη κατασκευή, μεγαλύτερη ασφάλεια για τους εργάτες, λιγότερα απόβλητα από τα εργοτάξια, μικρότερο αποτύπωμα άνθρακα στην ατμόσφαιρα και πολλά άλλα, χωρίς να υστερεί σε κάποιον τομέα σε σχέση με το σκυρόδεμα και το μέταλλο.

Ο πλανήτης, από την άλλη, ίσως δεν είναι ακόμα έτοιμος ώστε να οριστεί η βιομηχανική ξυλεία ως η επικρατέστερη μέθοδος κατασκευής σε παγκόσμια κλίμακα. Επειδή η συγκεκριμένη βιομηχανία βασίζεται στη διαθέσιμη ξυλεία, άρα στα δάση, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή για τη διατήρηση και διαχείριση των φυσικών πόρων. Με την οργάνωση ενός συστήματος που θα έχει την δυνατότητα να ικανοποιεί την ζήτηση των κατασκευών αλλά και να προνοεί, όλη η διαδικασία συλλογής των φυσικών πόρων, να γίνεται με μέτρο και με σεβασμό απέναντι στο περιβάλλον, έτσι ώστε να μην μειωθούν επικίνδυνα οι δασικές εκτάσεις. Με αυτόν τον τρόπο και ο πλανήτης δεν θα καταπονηθεί και η βιομηχανική ξυλεία θα έχει την δυνατότητα να παράγεται σε μεγάλο βαθμό για πολλά έτη ακόμα.

Εν κατακλείδι, δεδομένων των περιορισμών του ξύλου, ως υλικό, η χρήση βιομηχανικής ξυλείας φαίνεται να είναι η ιδανικότερη λύση. Οι κατασκευές κτιρίων από βιομηχανική ξυλεία, λόγω των περιβαλλοντικών και κατασκευαστικών ιδιοτήτων τους, φαίνεται να είναι καλύτερη επιλογή από τα επικρατέστερα υλικά δόμησης.

## **Βιβλιογραφία**

### **Έντυπη βιβλιογραφία:**

- Σ. Σίνος. (2012). *Θεωρία και πράξη στην προ-μοντέρνα αρχιτεκτονική*. Εκδόσεις Πατάκη.
- C. Ferrer, T. Hilderbrand, C. Martinez-Canavate. (2023, Ιανουάριος 24). *Touch WoodQ Material, Architecture, Future*. Lars Muller Publishers.
- A. D. F. Hamlin. (1906). *A Text-book of the History of Architecture* (7<sup>η</sup> έκδοση). Longmans, Green, And.
- T. Sumiyoshi, G. Matsui. (1991). *Wood joints in classical Japanese architecture* (F. Kovacs, Μετ.). Kajima Institute Publishing.
- McAlester, V., Matty, S. P., Clicque, S., McAlester, A. L. 1., Jarrett, L., & Rodriguez-Arnaiz. (2013). *A field guide to American houses: the definitive guide to identifying and understanding America's domestic architecture* (2<sup>η</sup> έκδοση). Alfred A. Knopf.
- Ching, F. D. K. (2014). *Building construction illustrated* (5<sup>η</sup> έκδοση). John Wiley & Sons.
- A. X. Τριανταφύλλου. (2017, Σεπτέμβριος). *Δομικά Υλικά*. Gotsis.
- Η. Βουλγαρίδης. (1997). *Το ξύλο σε Υπάρχουσες Δομικές Κατασκευές: Παλιές και Νέες Τεχνολογίες*. Φεβρουάριος 27-28, 1997, Θεσσαλονίκη.
- A. Fernandez, J. Peronto, J. Komp. (2020, Σεπτέμβριος). *Ascent – Challenges and Advances of Tall Mass Timber Construction*. International Journal of High-Rise Buildings. <https://doi.org/10.21022/IJHRB.2020.9.3.235>
- C. Eckholm. (2020, Ιανουάριος 24). *PMX 35, Exploration 1: How to design a timber building that can reach 35 stories*. Medium. <https://medium.com/>
- H. Emre Ilgin. (2022, Ιούνιος). *Massive Wood Construction in Finland: PAST, Present, and Future*. DOI:10.5772/intechopen.104979.
- J. Heikkilä, R. Suikkari. *Log Structures in Finnish Architecture – Continuing the Tradition*. University of Oulu, Department of Architecture.
- Kesik, Ted and Martin, Rosemary. (2021). *Mass Timber Building Science Primer*. Mass Timber Institute. University of Toronto.
- M. Ramage, R. Foster, S. Smith, K. Flanagan & R. Bakker. (2017). *Super Tall Timber: design research for the next generation of natural structure*. The Journal of Architecture. DOI:10.1080/13602365.2016.1276094
- Structural Mass Timber Corporation. *Mass Timber Design Guide*.
- Think Wood, Wood Works. (2022). *Mass Timber Design Manual, vol. 2*.
- Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2016, Δεκέμβριος 6). *half-timber work*. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/technology/half-timber-work>
- Timber framing*. (2023, Σεπτέμβριος 30). Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Timber\\_framing](https://en.wikipedia.org/wiki/Timber_framing)



Expats in Germany. (2023, Οκτώβριος 11). *Half timbered houses in Germany through history*. <https://expat-in-germany.com/fachwerk-half-timbered-houses-in-germany/>

M. Knorr-Evans. (2021, Οκτώβριος 13). *Why are houses in the United States made out of wood?*. As. [https://en.as.com/en/2021/10/13/latest\\_news/1634141504\\_058858.html](https://en.as.com/en/2021/10/13/latest_news/1634141504_058858.html)

*Framing (construction)*. (2023, Οκτώβριος 25). Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Framing\\_\(construction\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Framing_(construction))

C. Applegath. (2022, Οκτώβριος 23). *10 Reasons To Build With Mass Timber*. Medium. <https://medium.com>

SkyCiv. (2019, Φεβρουάριος 13). *Commonly Used materials in Structural Engineering*. <https://skyciv.com>

Hardwoods Group. *Timber Frame Construction Methods*. <https://hardwoodsgroup.com>

E. Souza. (2021, Οκτώβριος 6). *Is Mass Timber a Good Choice for Seismic Zones?*. ArchDaily. <https://www.archdaily.com>

C. Carlson. (2022, Αύγουστος 3). *Ascent skyscraper in Milwaukee becomes world's tallest timber building*. Dezeen. <https://www.dezeen.com>

C. Anderson. (2023, Απρίλιος 10). *Detail: CLT structure of the Sara Cultural Centre, Skellefteå*. Archello. <https://archello.com>

A. Williams. (2021, Σεπτέμβριος 13). *Sustainable tower is a triumph of timber construction*. New Atlas. <https://newatlas.com>

White Arkitekter. *Sara Cultural centre, Skellefte*. Ανακτήθηκε 10 Οκτωβρίου 2023 από <https://whitearkitekter.com>

J. Hahn. (2023, Μάρτιος 17). *Shigeru Ban's timber-skeleton Tamedia building left engineers "incredulous"*. Dezeen. <https://www.dezeen.com>

HIC Arquitectura. (2014, Απρίλιος 5). *Shigeru Ban Tamedia Office Building*. Ανακτήθηκε 10 Οκτωβρίου 2023 από <https://hicarquitectura.com>

Parametric-Architecture Editorial Team. (2023, Ιούνιος 15). *CADG-Designed Tianfu Agriculture Exposition Is The Largest Timber Structure In Asia*. Parametric-Architecture <https://parametric-architecture.com>

J. Rubenstone. *Project of the Year Finalist and Best Sports/EntertainmentQ Tianfu Agricultural Exposition*. Engineering News-Record. <https://www.enr.com>

Seetao. (2022, Οκτώβριος 19). *The main pavilion of China Tianfu Agricultural Expo Park won the Grand prize*. <https://test.seetao.com>

StructureCraft. *Tianfu Agricultural Expo*. Ανακτήθηκε 11 Οκτωβρίου από <https://structurecraft.com>

PLP Architecture. *Oakwood Timber Tower London, UK*. Ανακτήθηκε 11 Οκτωβρίου από <https://plparchitecture.com>

P. Lynch. (2016, Νοέμβριος 3). *Zaha Hadid Architects' Competition-Winning Design for Forest Green Rovers Will Be World's First All-Wood Stadium*. ArchDaily. <https://www.archdaily.com>

World Constuction Network. (2018, Φεβρουάριος 23). *Forest Green Rover's Eco Park Stadium*. Ανακτήθηκε 11 Οκτωβρίου από <https://www.worldconstructionnetwork.com>



«Αμιγώς ξύλινα κτίρια μεγάλης κλίμακας: Η αναγέννηση της ξύλινης κατασκευής»

R. S. Aouf. (2020, Φεβρουάριος 13). *Sidewalk Labs tests possibilities for timber construction with 35-storey Proto-Model*. Dezeen. <https://www.dezeen.com>

## **Πίνακας Εικόνων**

### **1.3.1:**

1. <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=vz3avX1tqmw>

2. pdf: Log Structures in Finnish Architecture – Continuing the Tradition

3-5.

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%BF%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%BF%CE%B9%CE%BA%CE%AF%CE%B1>

### **1.5.3:**

1. <https://gr.pinterest.com/pin/856035841658466182/>

2. [https://www.123rf.com/photo\\_68878926\\_traditional-tribal-hut-of-kenyan-people-nairobi-east-africa.html](https://www.123rf.com/photo_68878926_traditional-tribal-hut-of-kenyan-people-nairobi-east-africa.html)

3. <https://www.bigstockphoto.com/image-374879131/stock-photo-round-hut-of-mafwe-tribe-in-caprivi%2C-namibia%2C-africa%2C-a-traditional-primitive-habitation-made-of-ree>

4. <https://www.wishtoyo.org/chumash-village-1>

### **2.3.1:**

1. <https://bk-wood.nl/suurstoffi-22-erne-ag-holzbau/>

2. <https://www.erne.net/fr/references/reference-detail/reference/arbo-1/>

3. <https://www.dezeen.com/2019/03/19/mjostarne-worlds-tallest-timber-tower-voll-arkitekter-norway/>

### **4.1.1:**

1. <https://www.costar.com/article/424172533/worlds-tallest-mass-timber-tower-completed-in-this-great-lakes-city>

2-6. Ascent-challenges-and-advances-of-tall-mass-timber-construction

### **4.1.2:**

1. <https://whitearkitekter.com/project/sara-cultural-centre/>

2. <https://archello.com/news/detail-clt-structure-of-the-sara-cultural-centre-skelleftea>

3. <https://www.designboom.com/architecture/white-arkitekter-tallest-timber-building-completed-skelleftea-sweden-09-08-2021/>

4. <https://archello.com/news/detail-clt-structure-of-the-sara-cultural-centre-skelleftea>

5. <https://archello.com/news/detail-clt-structure-of-the-sara-cultural-centre-skelleftea>

6. <https://www.archdaily.com/967019/sara-kulturhus-center-white-arkitekter>

### **4.1.3:**

1. <https://hicarquitectura.com/2014/04/shigeru-ban-architects-tamedia-office-building/>

2-12. <https://www.archdaily.com/478633/tamedia-office-building-shigeru-ban-architects>

### **4.1.4:**

1.

2. <https://parametric-architecture.com>

3. <https://structurecraft.com>

4. <https://structurecraft.com/projects/tianfu-agricultural-expo>

5. <https://structurecraft.com/projects/tianfu-agricultural-expo>

6. <https://parametric-architecture.com>

### **4.2.1:**

1. <https://www.ubm-development.com>

2. pdf: Super Tall Timber design research for the next generation of natural structure

3. pdf: Super Tall Timber design research for the next generation of natural structure

4. <https://medium.com/geographical/scientists-shoot-for-worlds-tallest-wooden-skyscraper-f5ca3c94faa8>

5. pdf: Super Tall Timber design research for the next generation of natural structure

<https://plparchitecture.com>

**4.2.3:**

1. <https://www.gensler.com>
2. <https://medium.com>
3. <https://medium.com>
4. <https://henrymai.com>

<https://www.fgr.co.uk>

<https://bk-wood.nl/suurstoffi-22-erne-ag-holzbau/>

<https://www.erne.net/fr/references/reference-detail/reference/arbo/>

<https://www.dezeen.com/2019/03/19/mjostarne-worlds-tallest-timber-tower-voll-arkitekter-norway/>

«Αμιγώς ξύλινα κτίρια μεγάλης κλίμακας: Η αναγέννηση της ξύλινης κατασκευής»